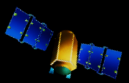
دروس - أنشطة - تطبيقات

الكيمياء 2 و الميكانيك

الفيزياء و الكيمياء

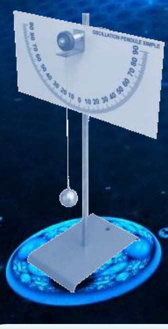
PHYSIQUE-CHIMIE



السنة الثانية من سلك البكالوريا - الجزء الثاني

- علوم فيزيائية
- علوم الحياة و الأرض
- علوم رياضية *

2 BAC



إعداد: ذ. ياسين الدراز
ثانوية الرازي التأهيلية – ترجيست

Facebook : Yassin DERRAZ
Gmail: yassinderaz@gmail.com

المحتوى

الكيمياء

- معيار التطور التقائي.
- التحولات التلقائية في الأعمدة و تحصيل الطاقة.
- أمثلة لتحولات قسرية.
- تفاعلات الأسترة و الحلمأة.
- كيفية التحكم في تطور مجموعة كيميائية

الميكانيك

- قوانين نيوتن.
- السقوط الراسي لجسم صلب.
- الحركات المستوية.
- الأقمار الاصطناعية و الكواكب.
- المتذبذبات الميكانيكية.
- المظاهر الطاقية.
- الذرة و ميكانيك نيوتن.

Cours
الكيمياء

دروس و أنشطة الكيمياء

للثانية بكالوريا

مسلك العلوم الفيزيائية (+)

الدورة الثانية

BESCO
BATTERIES BUILT TOUGH
ULTRA HI PERFORMANCE
Suitable for Passenger Vehicles

منحى تطور مجموعة كيميائية

كيفية التحكم في تطور المجموعات الكيميائية

إعداد: ذ. ياسين الدراز
ثانوية الرازي التأهيلية - ترجيست

Facebook : Yassin DERRAZ
Gmail: yassinderaz@gmail.com

CHIMIE - 2BACSP-SM-SVT

Cours الكيمياء

الجزء الثالث

منحى تطور مجموعة كيميائية

محتوى الجزء:

- **الوحدة 6:** التطور التلقائي لمجموعة كيميائية.
- **الوحدة 7:** التحولات التلقائية في الأعمدة و تحصيل الطاقة.
- **الوحدة 8:** أمثلة لتحولات قسرية.

⊕ ⊖
SAMSUNG
Near Field Communication
CELL MADE IN JAPAN, ASSEMBLED IN KOREA
BATTERIE FABRIQUÉ AU JAPON, ASSEMBLÉ EN CORÉE
ENSAMBLADO EN COREA / MONTADO NA CORÉIA
Secondary Li-ion Battery
Nominal Voltage 3.85 V ⎓ / 8.47 Wh
Charge Voltage 4.4 V ⎓ / 2200 mAh
1ICP6/51/54
CE

الجزء الثالث

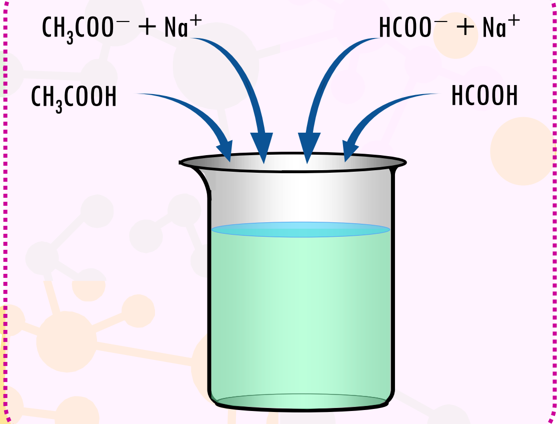
كيمياء C6

الدرس

التطور التلقائي لمجموعة كيميائية

Évolution spontanée d'un système chimique

تمهيد



بالنسبة لهذه المجموعة الكيميائية يمكن أن يحدث تفاعلين كيميائيين مختلفين حسب الظروف المتوفرة.

ففي ظروف معينة يحدث التفاعل التالي:

❶ $HCOOH + CH_3COO^- \rightarrow HCOO^- + CH_3COOH$

و في ظروف أخرى يمكن أن يحدث التفاعل:

❷ $HCOO^- + CH_3COOH \rightarrow HCOOH + CH_3COO^-$

- كيف يمكن التنبؤ بمنحى تطور مجموعة كيميائية ؟ ما هو المعيار المعتمد؟

الفئة المستهدفة	الغلاف الزمني (درس + تمارين)
الثانية بكالوريا - جميع الشعب و المسالك العلمية	3 ساعات (2 + 1)

تصميم الدرس

- **خارج التفاعل Q_r،**
  - تعبير خارج التفاعل:
  - خارج التفاعل عند حالة التوازن:
  - خارج التفاعل في الحالة البدئية:
- **معيار التطور التلقائي،**
  - نشاط :
  - معيار التطور التلقائي - خلاصة:
- تمرين تطبيقي.

معارف و مهارات

- حساب قيمة خارج التفاعل Q_r لمجموعة كيميائية في حالة معينة.
- تحديد منحى تطور مجموعة كيميائية.

I خارج التفاعل Q_r (تذكير) Le Quotient de réaction

1 تعبير خارج التفاعل - تذكير

◂ نعتبر مجموعة كيميائية ، عند درجة حرارة T ، يمكنها أن تخضع لتحول كيميائي منمذج بالمعادلة التالية:

$$aA_{(aq)} + bB_{(aq)} \rightleftarrows cC_{(aq)} + dD_{(aq)}$$

◂ بالنسبة لحالة معينة لتطور المجموعة يعرف خارج التفاعل Q_r بالعلاقة : $Q_r = \dfrac{[C]^c.[D]^d}{[A]^a.[B]^b}$

ملحوظة:

✓ خارج التفاعل مقدار بدون وحدة. و لا يمثل الماء (كمذيب) و الأجسام الصلبة في تعبير Q_r. و التراكيز معبر عنها بالوحدة $mol.L^{-1}$.

أمثلة:

◂ تفاعل أكسدة–اختزال بين أيونات يودور و أيونات الحديد III.

$$2I^-_{(aq)} + 2Fe^{3+}_{(aq)} \leftrightarrows 2Fe^{2+}_{(aq)} + I_{2\,(aq)}$$

$$Q_{r,1} = \frac{[Fe^{2+}]^2.[I_2]}{[Fe^{3+}]^2.[I^-]^2}$$

◂ تفاعل حمض–قاعدة بين حمض الميثانويك مع أيونات إيثانوات.

$$HCO_2H_{(aq)} + CH_3CO^-_{2(aq)} \leftrightarrows HCO^-_{2(aq)} + CH_3CO_2H_{(aq)}$$

$$Q_{r,2} = \frac{[HCO_2^-].[CH_3CO_2H]}{[CH_3CO_2^-].[HCO_2H]}$$

2 خارج التفاعل عند حالة التوازن - تذكير

◂ نقرن بكل معادلة التفاعل ثابتة K تسمى ثابتة التوازن. في حالة التوازن لدينا : $\boxed{K = Q_{r,éq}}$.

◂ K مقدار بدون وحدة ، تتعلق قيمته بدرجة الحرارة T و بطبيعة المتفاعلات.

◁ بالنسبة لمعادلة التفاعل $aA_{(aq)} + bB_{(aq)} \rightleftarrows cC_{(aq)} + dD_{(aq)}$ ، نكتب: $K = \dfrac{[C]^c_{éq}.[D]^d_{éq}}{[A]^a_{éq}.[B]^b_{éq}}$.

3 خارج التفاعل في الحالة البدئية $Q_{r,i}$

◂ الحالة البدئية لمجموعة كيميائية هي الحالة التي تكون عليها المجموعة مباشرة بعد مزج الأنواع الكيميائية التي تدخل في التحول الكيميائي، أي قبل بداية التفاعل. وفي هذه الحالة (الحالة البدئية) نرمز لخارج التفاعل بـ $Q_{r,i}$. $(i = initiale)$

◁ بالنسبة لمعادلة التفاعل $aA_{(aq)} + bB_{(aq)} \rightleftarrows cC_{(aq)} + dD_{(aq)}$ ، نكتب: $Q_{r,i} = \dfrac{[C]^c_i.[D]^d_i}{[A]^a_i.[B]^b_i}$.

تطبيق:

نحضر خليطا باستعمال أحجام المحاليل التالية :

- $V_1 = 40mL$ من محلول فلورور الهيدروجين ذي تركيز $C_1 = 0,2\ mol.L^{-1}$.
- $V_2 = 20mL$ من محلول فلورور الصوديوم ذي تركيز $C_2 = 0,2\ mol.L^{-1}$.
- $V_3 = 25mL$ من محلول حمض الميثانويك ذي تركيز $C_3 = 0,1\ mol.L^{-1}$.
- $V_4 = 25mL$ من محلول ميثانوات الصوديوم ذي تركيز $C_4 = 0,2\ mol.L^{-1}$.

بغض النظر عن منحى تطور المجموعة الكيميائية، نعتبر معادلة التفاعل حمض-قاعدة التالية: $HF_{(aq)} + HCO_2^-{}_{(aq)} \leftrightarrows F^-_{(aq)} + HCO_2H_{(aq)}$

نعطي: $pK_{A1}(HF_{(aq)}/F^-_{(aq)}) = 3,2$ و $pK_{A2}(HCOOH_{(aq)}/HCOO^-_{(aq)}) = 3,8$.

❶ أعط تعبير خارج التفاعل عند الحالة البدئية $Q_{r,i}$ ثم احسب قيمته .

❷ أعط تعبير خارج التفاعل عند التوازن K ثم احسب قيمته .

◂ **جواب** ① + ② :

$$K = \frac{[HCOOH]_{éq}.[F^-]_{éq}}{[HCOO^-]_{éq}.[HF]_{éq}} = \frac{K_{A1}}{K_{A2}} = 10^{pK_{A2}-pK_{A1}} = 4,0 \quad et \quad Q_{r,i} = \frac{[HCOOH]_i.[F^-]_i}{[HCOO^-]_i.[HF]_i} = \frac{C_2V_2.C_3V_3}{C_4V_4.C_1V_1} = 0,25$$

II معيار التطور التلقائي Le Critère d'évolution spontanée

1 نشاط

- نحضر في ثلاثة كؤوس الخلائط ❶ و ❷ و ❸ المكونة من المحاليل المائية التالية :

الحجم بـ (mL)	الخليط		
	❶	❷	❸
V_1	10	2,0	2,0
V_2	10	10	10
V_3	10	20	20
V_4	10	2,0	10
قيمة pH	4,30	4,10	4,50

- V_1 حجم محلول حمض الميثانويك $HCOOH$، تركيزه $C = 0,10 mol.L^{-1}$.
- V_2 حجم محلول ميثانوات الصوديوم $HCOO^- + Na^+$، تركيزه $C = 0,10 mol.L^{-1}$.
- V_3 حجم محلول حمض الإيثانويك CH_3COOH، تركيزه $C = 0,10 mol.L^{-1}$.
- V_4 حجم محلول إيثانوات الصوديوم $CH_3COO^- + Na^+$، تركيزه $C = 0,10 mol.L^{-1}$.

يعطي الجدول جانبه قيمة pH كل محلول. و نرمز بـ V_T للحجم الكلي للخليط التفاعلي.

أسئلة:

❶ بغض النظر عن منحى تطور المجموعة، أكتب معادلة التفاعل حمض-قاعدة بين حمض الميثانويك و أيونات الإيثانوات.

المزدوجتان قاعدة/حمض المتدخلتان: $HCOOH/HCOO^-$ ذات $pK_{A1}=3,8$.

CH_3COOH/CH_3COO^- ذات $pK_{A2}=4,8$.

❷ بين أن ثابتة التوازن للتفاعل يمكن أن تكتب على الشكل : $K = 10^{pK_{A2}-pK_{A1}}$. احسب قيمة K .

❸ نعتبر المجموعة في الحالة البدئية، أحسب قيمة خارج التفاعل البدئي $Q_{r,i}$ لكل خليط، ثم قارن $Q_{r,i}$ مع K في كل خليط.

❹ باستعمال العلاقة: $pH = pK_A + log\dfrac{[A^-]_f}{[AH]_f}$، احسب قيميتي النسبتين $\dfrac{[HCOO^-]_f}{[HCOOH]_f}$ و $\dfrac{[CH_3COO^-]_f}{[CH_3COOH]_f}$. ثم في الحالة البدئية.

❺ استنتج بالنسبة لكل خليط منحى تطور المجموعة الكيميائية.

❻ بمقارنة قيمتي $Q_{r,i}$ و ثابتة التوازن K ، حدد معيارا يمكن من التنبؤ بمنحى التطور التلقائي لمجموعة كيميائية.

استثمار:

① المعادلة الحصيلة للتفاعل: $HCOOH_{(aq)} + CH_3COO^-_{(aq)} \rightleftarrows HCOO^-_{(aq)} + CH_3COOH_{(aq)}$

② ثابتة التوازن K:

$$K = \frac{[HCOO^-]_{éq}.[CH_3COOH]_{éq}}{[HCOOH]_{éq}.[CH_3COO^-]_{éq}} \times \frac{[H_3O^+]_{éq}}{[H_3O^+]_{éq}} = \frac{K_{A1}}{K_{A2}} = \frac{10^{-pK_{A1}}}{10^{-pK_{A2}}} = 10^{pK_{A2}-pK_{A1}} = 10^{4,8-3.8} = 10$$

③ خارج التفاعل في الحالة البدئية $Q_{r,i}$:

$$Q_{r,i} = \frac{[HCOO^-]_i.[CH_3COOH]_i}{[HCOOH]_i.[CH_3COO^-]_i} = \frac{\frac{CV_2}{V_T}.\frac{CV_3}{V_T}}{\frac{CV_1}{V_T}.\frac{CV_4}{V_T}} = \frac{V_2.V_3}{V_1.V_4}$$

④ حساب قيمة النسبة $[A^-]/[HA]$ في الحالتين؛ البدئية و النهائية.

لدينا: $pH = pK_A + log\dfrac{[A^-]_f}{[AH]_f}$ إذن: $log\dfrac{[A^-]_f}{[AH]_f} = pH - pK_A$ و منه: $\dfrac{[A^-]_f}{[AH]_f} = 10^{pH-pK_A}$

و بالتالي: $\dfrac{[HCOO^-]_f}{[HCOOH]_f} = 10^{pH-pK_{A1}}$ و $\dfrac{[CH_3COO^-]_f}{[CH_3COOH]_f} = 10^{pH-pK_{A2}}$.

تعبير النسبتين في الحالة البدئية هو: $\dfrac{[HCOO^-]_i}{[HCOOH]_i} = \dfrac{\frac{CV_2}{V_T}}{\frac{CV_1}{V_T}} = \dfrac{V_2}{V_1}$ و $\dfrac{[CH_3COO^-]_i}{[CH_3COOH]_i} = \dfrac{\frac{CV_4}{V_T}}{\frac{CV_3}{V_T}} = \dfrac{V_4}{V_3}$.

	رقم الخليط		
	❶	❷	❸
K	10	10	10
$Q_{r,i}$	1,0	50	10,0
المقارنة	$Q_{r,i} < K$	$Q_{r,i} > K$	$Q_{r,i} = K$

- نلخص النتائج في الجدول التالي:

⑤ منحى تطور المجموعة الكيميائية في كل خليط:

من خلال الجدول جانبه:

	رقم الخليط		
	❶	❷	❸
$\frac{[HCOO^-]_i}{[HCOOH]_i}=\frac{V_2}{V_1}$	1,0	5,0	5,0
$\frac{[HCOO^-]_f}{[HCOOH]_f}=10^{pH-pK_{A1}}$	3,2	2,0	5,0
$\frac{[CH_3COO^-]_i}{[CH_3COOH]_i}=\frac{V_4}{V_3}$	1,0	0,10	0,50
$\frac{[CH_3COO^-]_f}{[CH_3COOH]_f}=10^{pH-pK_{A2}}$	0,32	0,20	0,50

◀ في الخليط ❶ حيث $Q_{r,i} < K$، يتزايد $[CH_3COOH]$ و $[HCOO^-]$ و يتناقص $[CH_3COO^-]$ و $[HCOOH]$. نعبر عن هذ التغير بالمعادلة:

$$HCOOH + CH_3COO^- \longrightarrow HCOO^- + CH_3COOH$$

◀ تتطور المجموعة إذن في المنحى المباشر، حيث تزداد قيمة خارج التفاعل Q_r .

◀ في الخليط ❷ حيث $Q_{r,i} > K$، يتناقص $[CH_3COOH]$ و $[HCOO^-]$ و يتزايد $[CH_3COO^-]$ و $[HCOOH]$. نعبر عن هذ التغير بالمعادلة:

$$HCOOH + CH_3COO^- \longleftarrow HCOO^- + CH_3COOH$$

◀ تتطور المجموعة إذن في المنحى المعاكس، حيث تتناقص قيمة خارج التفاعل Q_r .

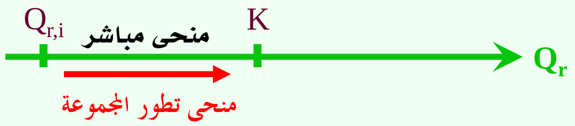
◀ في الخليط ❸ حيث $Q_{r,i} = K$ ، تبقى جميع التراكيز ثابتة .

◀ إذن لا تتطور المجموعة عيانيا، فهي في حالة توازن.

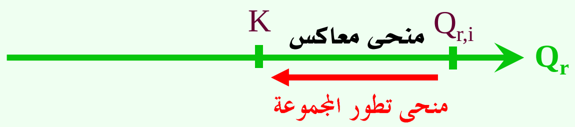
⑥ معيار التطور التلقائي - خلاصة:

لتوقع منحى التطور التلقائي لمجموعة كيميائية، نستعمل كمعيار، مقارنة خارج التفاعل $Q_{r,i}$ مع ثابتة التوازن K . و نميز ثلاث حالات:

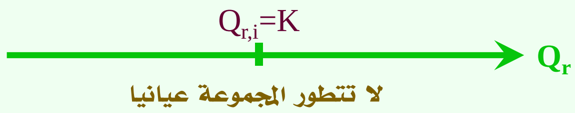
◗ $Q_{r,i} < K$: تتطور المجموعة في المنحى المباشر.



◗ $Q_{r,i} > K$: تتطور المجموعة في المنحى المعاكس.



◗ $Q_{r,i} = K$: لا تتطور المجموعة عيانيا، و توجد في حالة توازن.



تمرين تطبيقي – 10 *min*

ننجز مجموعة كيميائية باستعمال المحاليل و المواد التالية:

- $V_1 = 100\ mL$ من أيونات الزنك $Zn^{2+}_{(aq)}$ بتركيز $C_1 = 0,20\ mol.L^{-1}$.
- $V_2 = 200\ mL$ من أيونات الألومينيوم $Al^{3+}_{(aq)}$ بتركيز $C_2 = 0,015\ mol.L^{-1}$.
- صفيحة من الزنك و أخرى من الألومينيوم.

يمكن أن يحدث تفاعل أكسدة-اختزال معادلته: $2Al_{(s)} + 3Zn^{2+}_{(aq)} \underset{2}{\overset{1}{\rightleftharpoons}} 2Al^{3+}_{(aq)} + 3Zn_{(s)}$. ثابتة التوازن لهذا التفاعل هي: $K = 4.10^{93}$.

❶ احسب قيمة خارج التفاعل $Q_{r,i}$ في الحالة البدئية.

❷ باعتمادك على معيار التطور التلقائي، حدد منحى تطور المجموعة الكيميائية.

جواب:

① حساب قيمة $Q_{r,i}$:

$$Q_{r,i}=\frac{[Al^{3+}]_i^2}{[Zn^{2+}]_i^3}=\frac{\left(\frac{C_2V_2}{V_1+V_2}\right)^2}{\left(\frac{C_1V_1}{V_1+V_2}\right)^3}=\frac{(C_2V_2)^2}{(C_1V_1)^3}(V_1+V_2)=\frac{(0,015\times0,2)^2}{(0,20\times0,1)^3}\times(0,1+0,2)=0,34 .$$

② لدينا: $K > Q_{r,i}$ ، إذن حسب معيار التطور التلقائي، ستتطور المجموعة في المنحى المباشر (المنحى 1).

$$2Al_{(s)} + 3Zn^{2+}_{(aq)} \longrightarrow 2Al^{3+}_{(aq)} + 3Zn_{(s)} .$$

الدرس

التحولات التلقائية في الأعمدة و تحصيل الطاقة

Transformations spontanées dans les piles et récupération d’énergie

تمهيد

+
1.5 V
YDRRZ-Pile
GP
SUPER ALKALINE
BATTERY
9V

العمود (أو المولد الكهروكيميائي) جهاز يسمح بالحصول على طاقة كهربائية (تيار كهربائي مستمر) انطلاقا من تفاعل تلقائي دون تماس مباشر للمتفاعلات.

- مما يتكون العمود ؟
- ما طبيعة التفاعلات التي تحدث داخل العمود؟
- كيف نفسر اشتغال عمود ؟

الفئة المستهدفة	الغلاف الزمني (درس + تمارين)
الثانية بكالوريا ـ جميع الشعب و المسالك العلمية	8 ساعات (2+6)

تصميم الدرس

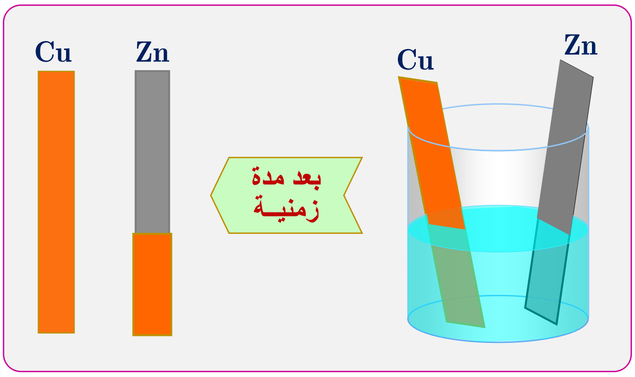
- **الانتقال التلقائي للإلكترونات،**
  - الانتقال التلقائي المباشر:
  - الانتقال التلقائي غير المباشر:
- **تكوين عمود،**
- **القوة الكهرمحركة لعمود،**
- **مبدأ اشتغال عمود - عمود دانييل،**
- **التطور التلقائي لعمود،**
- **كمية الكهرباء و حصيلة المادة،**
  - كمية الكهرباء الممنوحة من طرف عمود:
  - كمية المادة المستهلكة أو المتكونة في عمود:

معارف و مهارات

- تمثيل عمود (التبيانة الاصطلاحية ـ التبيانة ؛ تبيانة التركيب التجريبي).
- تحديد منحى انتقال حملات الشحنة الكهربائية أثناء اشتغال عمود باعتماد معيار التقدم التلقائي.
- تفسير اشتغال عمود بالتوفر على المعلومات التالية: منحى مرور التيار الكهربائي، و القوة الكهرمحركة f.é.m، والتفاعلات عند الإلكترودين، وقطبية الإلكترودين، وحركة حملات الشحنة الكهربائية.
- كتابة معادلة التفاعل الحاصل عند كل إلكترود (باستعمال سهمين) والمعادلة الحصيلة أثناء اشتغال العمود (باستعمال سهم واحد).
- إيجاد العلاقة بين كمية المادة للأنواع الكيميائية المتكونة أو المستهلكة وشدة التيار ومدة اشتغال العمود، و استغلالها في تحديد مقادير أخرى (كمية الكهرباء - تقدم التفاعل - تغير الكتلة - ...) .

I الانتقال التلقائي للإلكترونات *Transfert spontanée des électrons*

1 الانتقال التلقائي المباشر:



نشاط 1- تجريبي:

نحضر في كأس خليطا من حجمين متساويين $V_1=V_2$ لمحلولي كبريتات النحاس II $(Cu^{2+}_{(aq)}+SO_4^{2-}{}_{(aq)})$ تركيزه $C_1=0,1mol.L^{-1}$ و محلول كبريتات الزنك $(Zn^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)})$ تركيزه المولي $C_2=0,1mol.L^{-1}$. ثم نغمر فيه صفيحتي الزنك و النحاس. بعد مدة زمنية نلاحظ توضع النحاس على صفيحة الزنك و تآكل صفيحة الزنك.

كيف تفسر ذلك ؟

بما أن النحاس يتوضع و الزنك يتآكل، فإن نصفي المعادلة أكسدة-اختزال هما:

$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftarrows Cu_{(s)}$ و $Zn_{(s)} \leftrightarrows Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

و بالتالي، المعادلة الحصيلة للتفاعل هي: $Cu^{2+}_{(aq)} + Zn_{(s)} \rightleftarrows Cu_{(s)} + Zn^{2+}_{(aq)}$ ؛ (قيمة ثابتة التوازن لهذ التفاعل هي: $K = 1,9.10^{37}$).

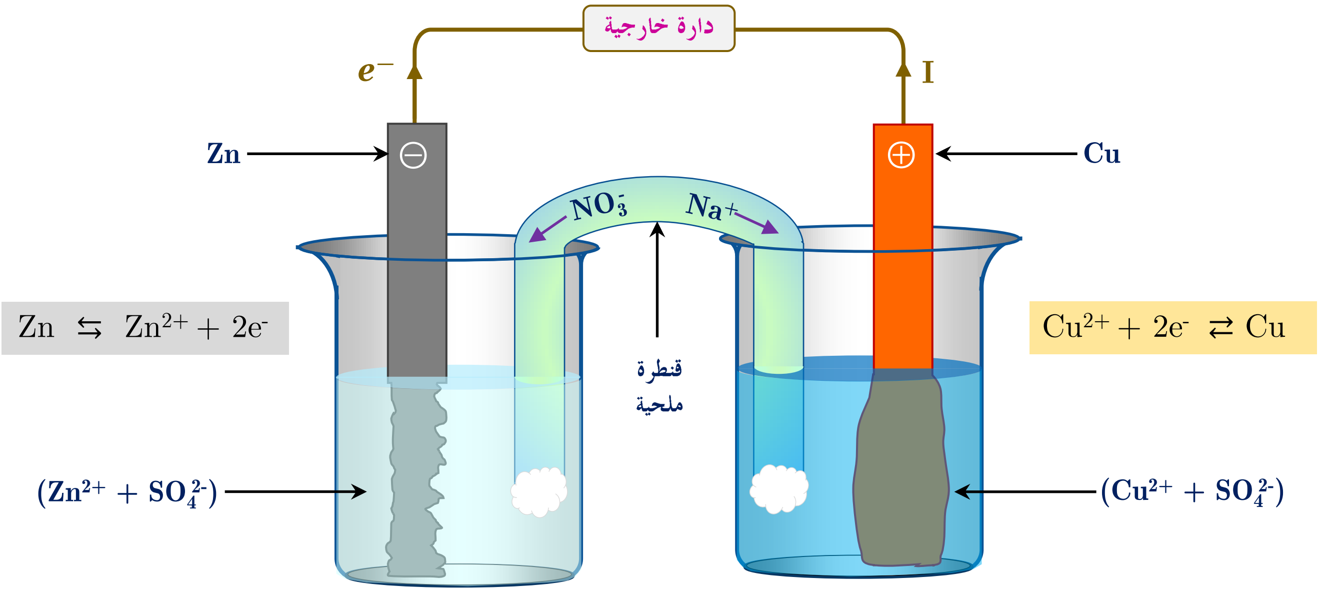
> عند مزج الأنواع الكيميائية لمزدوجتين مختزل/مؤكسد (ox/red) يحدث انتقال **تلقائي و مباشر** للإلكترونات بين مؤكسد مزدوجة و مختزل المزدوجة الأخرى.

- حساب قيمة خارج التفاعل في الحالة البدئية يعطي: $Q_{r,i} = \frac{[Zn^{2+}]_i}{[Cu^{2+}]_i} = \frac{(C_2.V_2)/(V_1+V_2)}{(C_1.V_1)/(V_1+V_2)} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{0,1}{0,1} = 1 \prec K$.
- إذن نتنبأ بتطور المجموعة في المنحى المباشر للتفاعل، أي منحى توضع فلز النحاس $Cu_{(s)}$. و هذا موافق للملاحظات التجريبية.

2 الانتقال التلقائي غير المباشر:

نشاط 2 - محاكاة:

نجز التركيب التالي:



- نلاحظ توضع النحاس على صفيحة النحاس و تآكل صفيحة الزنك، إذن معادلة التفاعل هي: $Cu^{2+}_{(aq)} + Zn_{(s)} \rightleftarrows Cu_{(s)} + Zn^{2+}_{(aq)}$
- انتقال الإلكترونات يتم من صفيحة الزنك نحو صفيحة النحاس عبر الدارة الخارجية: انتقال الإلكترونات من المختزل **Zn** إلى المؤكسد Cu^{2+} يتم بكيفية **غير مباشرة**. يمَكِّن هذا الانتقال - غير المباشر للإلكترونات - من إحداث تيار كهربائي في الدارة، و على هذا النحو تشتغل الأعمدة.

- في الإلكترودين (صفيحتا الزنك Zn و النحاس Cu) و أسلاك الربط تتحرك الإلكترونات e^- الحرة في المنحى المعاكس لمنحى التيار I .
- تتحرك الكاتيونات Zn^{2+} و Na^+ و Cu^{2+} في المحلول و القنطرة الأيونية في منحى التيار الكهربائي I .
- تتحرك الأنيونات SO_4^{2-} و NO_3^- في المحلول في المنحى المعاكس لمنحى التيار.

II تكوين عمود كهربائي *Constitution d'une pile électrique*

- العمود ثنائي قطب يحول الطاقة الكيميائية الناتجة عن تفاعل أكسدة-اختزال تلقائي، إلى طاقة كهربائية يمنحها لدارة خارجية.
  - يتكون العمود من مقصورتين تسميان نصفي العمود. يتكون كل نصف عمود من مؤكسد و المختزل المرافق له.
  - يرتبط نصفا العمود بقنطرة ملحية، أو بجدار مسامي يفصل بينهما. و دورها:
    - تحقيق الحياد الكهربائي للمحلولين الإلكتروليتيين في نصفي العمود.
    - توصيل التيار الكهربائي داخل العمود، نتيجة انتقال الأيونات عبرها.
- نسمي نصف عمود مجموعة مكونة من سلك أو صفيحة فلزية $M_{(s)}$ يدعى إلكترودا، مغمور في محلول إلكتروليتي يحتوي على الأيونات $M^{n+}{}_{(aq)}$.
  - لتحضير قنطرة ملحية يمكن استعمال محلول مائي لنترات الأمونيوم $(NH_4^+{}_{(aq)}+NO_3^-{}_{(aq)})$. أو محلول مائي لنترات البوتاسيوم $(K^+{}_{(aq)}+NO_3^-{}_{(aq)})$ ، أو محلول مائي لكلورور البوتاسيوم $(K^+{}_{(aq)}+Cl^-{}_{(aq)})$.
- **التبيانة الاصطلاحية لعمود:** يمثل العمود المكون من المزدوجتين $M_1^{a+}{}_{(aq)}/M_{1(s)}$ و $M_2^{b+}{}_{(aq)}/M_{2(s)}$ بالرمز:

القطب السالب $\longleftarrow$ $\underbrace{\ominus\ M_{1(s)}/M_1^{a+}{}_{(aq)}}_{\text{نصف عمود 1}}\ \ \underset{\downarrow}{||}\ \ \underbrace{M_2^{b+}{}_{(aq)}/M_{2(s)}\ \oplus}_{\text{نصف عمود 2}}$ $\longrightarrow$ القطب الموجب

قنطرة ملحية

$M_{1(s)}$ فلز مغمور في كأس تحتوي على الأيونات $M_1{}^{a+}$ و $M_{2(s)}$ فلز مغمور في كأس ثانية تحتوي على الأيونات $M_2{}^{b+}$.

III القوة الكهرمحركة لعمود *Force électromotrice d'une pile*

- لقياس القوة الكهرمحركة E لعمود نستعمل فولطمتر إلكتروني نوصله بمربطي العمود.

— مثال :

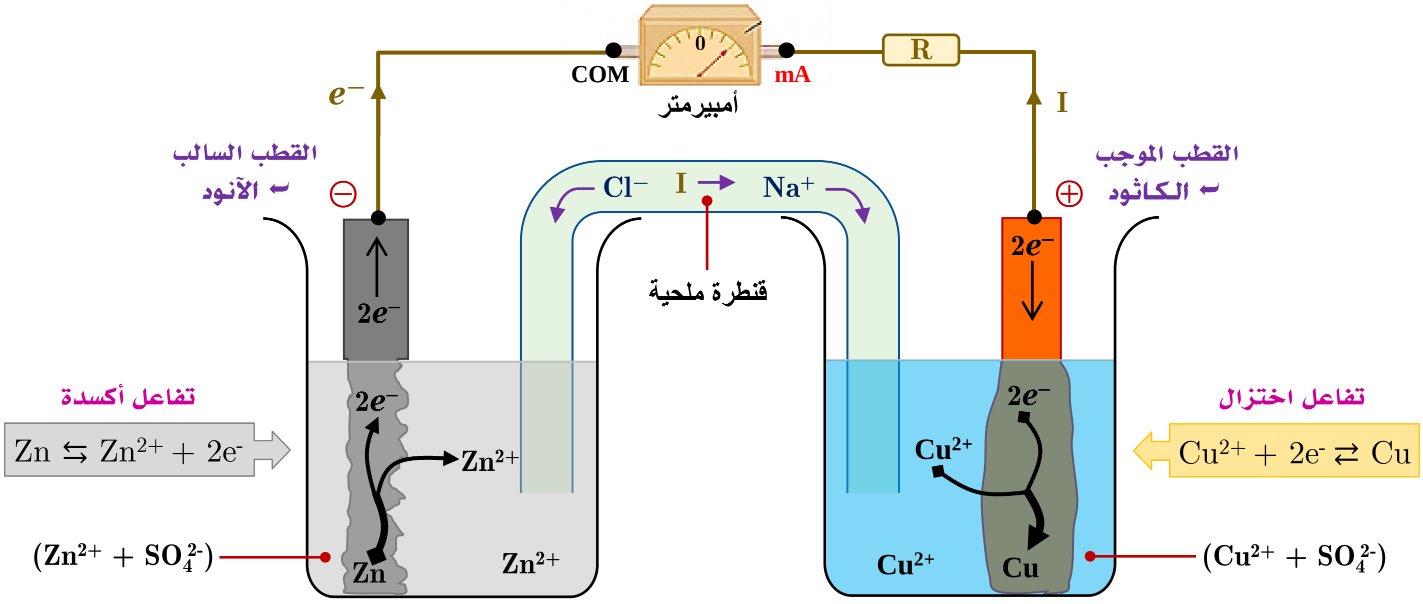
بالنسبة للعمود السابق، **زنك-نحاس**، عندما نربط المربط ⊕ (أو V) بإلكترود النحاس و المربط ⊖ (أو COM) بإلكترود الزنك نقرأ :

يعني أن: $U=V_{Cu}-V_{Zn}=1{,}10\ V$.

إذن: $V_{Cu}>V_{Zn}$ مما يدل على أن صفيحة النحاس تمثل القطب الموجب للعمود ⊕ و صفيحة الزنك تمثل قطبه السالب ⊖.

- نمثل هذا العمود بالتبيانة الاصطلاحية التالية: $\ominus\ \ Zn_{(s)}/Zn^{2+}{}_{(aq)}\ ||\ Cu^{2+}{}_{(aq)}/Cu_{(s)}\ \ \oplus$

IV مبدأ اشتغال عمود – عمود دانييل *Principe de fonctionnement d'une pile*


COM
0
mA
أمبيرمتر
R
e^-
I
القطب السالب
الآنود
⊖
القطب الموجب
الكاثود
⊕
Cl^-
I
Na^+
قنطرة ملحية
$2e^-$
$2e^-$
$2e^-$
$2e^-$
تفاعل أكسدة
$Zn \leftrightarrows Zn^{2+} + 2e^-$
Zn^{2+}
$(Zn^{2+}+SO_4^{2-})$
Zn
Zn^{2+}
تفاعل اختزال
$Cu^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Cu$
Cu^{2+}
Cu^{2+}
Cu
$(Cu^{2+}+SO_4^{2-})$

- عند ربط جهاز الأمبيرمتر نلاحظ انحراف الإبرة نحو القيم الموجبة، و بالتالي فإن تيارا كهربائيا يمر في الدارة الخارجية من صفيحة النحاس نحو صفيحة الزنك، و بما أن الإلكترونات لها منحى معاكس لمنحى التيار فإنها تنتقل إذن من صفيحة الزنك نحو صفيحة النحاس.
- تحرر الإلكترونات بسبب أكسدة فلز الزنك $Zn_{(s)}$ و تحوله إلى أيونات الزنك $Zn^{2+}_{(aq)}$ (التي يزداد تركيزها في مقصورة الزنك) حسب معادلة الأكسدة: $Zn \leftrightarrows Zn^{2+} + 2e^-$.
- تستهلك الإلكترونات التي تصل إلى صفيحة النحاس بسبب اختزال أيونات النحاس $Cu^{2+}_{(aq)}$ (التي يتناقص تركيزها في مقصورة النحاس) و تحولها إلى فلز النحاس $Cu_{(s)}$ حسب معادلة الاختزال: $Cu^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Cu$.
- المعادلة الحصيلة لاشتغال العمود هي: $Cu^{2+}_{(aq)} + Zn_{(s)} \longrightarrow Cu_{(s)} + Zn^{2+}_{(aq)}$.

- **يسمى الإلكترود الذي تحدث عنده الأكسدة أنودا و يمثل القطب السالب للعمود (صفيحة الزنك في هذه الحالة).**
- **يسمى الإلكترود الذي يحدث عنده الاختزال كاثودا و يمثل القطب الموجب للعمود (صفيحة النحاس في هذه الحالة).**

تذكير: نعتبر المزدوجة Ox/Red. الأكسدة تفاعل يؤدي إلى تكون المؤكسد Ox، و الاختزال تفاعل يؤدي إلى تكون المختزل Red.

V التطور التلقائي لعمود *Evolution spontanée d'une pile*

- أثناء اشتغاله، يكون العمود عبارة عن مجموعة كيميائية في غير حالة التوازن: $Q_r < K$.
- يمكن معيار التطور التلقائي من تحديد منحى انتقال حملات الشحنات الكهربائية ؛ الإلكترونات في الفلزات و الدارة الخارجية، و الأيونات في المحاليل المائية و القنطرة الملحية.
- عند التوازن يكون $Q_r = K$، عندئذ تتوقف المجموعة الكيميائية عن التطور و بالتالي لا يولد العمود تيارا كهربائيا: $I_{éq} = 0$ و $E = 0$.
  - في هذه الحالة نقول أن العمود مُستهلَكٌ (*pile usée*).

VI كمية الكهرباء و حصيلة المادة *Quantité d'électricité et bilan de matière*

1 كمية الكهرباء الممنوحة من طرف عمود:

- كمية الكهرباء Q الممنوحة من طرف عمود أثناء اشتغاله تساوي القيمة المطلقة للشحنة الكلية للإلكترونات المتبادلة:

$$\boxed{Q = n(e).N_A.|-e| = n(e).F}$$

بحيث

- وحدة Q في النظام العالمي للوحدات هي الكولوم (C).
- $n(e^-)$: كمية مادة الإلكترونات المتبادلة بالوحدة (mol).
- $N_A = 6{,}02.10^{23}\ mol^{-1}$: ثابتة أفوكادرو.
- $e = 1{,}6.10^{-19}\ C$: الشحنة الإبتدائية بالوحدة كولوم (C).

ملحوظة:

يسمى معامل التناسب F الفراداي faraday: و هي القيمة المطلقة لشحنة مول واحد من الإلكترونات: $F = |N_A.(-e)| = 96500\ C.mol^{-1}$.

- يعبر عن كمية الكهرباء Q الممنوحة من طرف عمود يزود الدارة بتيار كهربائي شدته I خلال مدة زمنية Δt بالعلاقة:

$$\boxed{Q = I.\Delta t}$$

I بالأمبير (A) - Δt بالثانية (s) - Q بالكولوم (C)

ملحوظة:

عند التوازن (أي عند استهلاك العمود كليا) تكون كمية مادة الإلكترونات المتبادلة قصوية و بالتالي نكتب:

$$Q_{max} = n(e)_{max}.F = I.\Delta t_{max}$$

Δt_{max}: هي المدة القصوية لاشتغال العمود و تسمى عمر العمود (أو مدة حياة العمود) (*durée de vie de la pile*).

عمود غير مستهلك

عمود مستهلك

2 كمية المادة المستهلكة أو المتكونة في عمود:

نشاط (وضعية مركبة): العمود ألومينيوم – زنك :

ننجز العمود ألومينيوم-زنك باستعمال المواد و الأدوات التالية:

- نغمر صفيحة من الألومينيوم في كأس تحتوي على الحجم $V = 100\ mL$ من محلول مائي لكلورور الألومينيوم $Al^{3+}_{(aq)}+3Cl^{-}_{(aq)}$ تركيزه المولي البدئي $C_1 = [Al^{3+}_{(aq)}]_i = 4{,}50.10^{-2}\ mol.L^{-1}$
- نغمر صفيحة من الزنك في كأس آخر تحتوي على الحجم $V = 100\ mL$ من محلول مائي لكبريتات الزنك $Zn^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}_{(aq)}$ تركيزه المولي البدئي $C_2 = [Zn^{2+}_{(aq)}]_i = 4{,}50.10^{-2}\ mol.L^{-1}$.
- نوصل المحلولين بقنطرة ملحية $(K^+_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)})$. ثم نركب بين قطبي العمود موصلا أوميا (D) و أمبيرمترا (A) و قاطعا للتيار (K).

معطيات:

- الكتلة المولية للألومينيوم: $M(Al) = 27{,}0\ g.mol^{-1}$.
- الكتلة المولية للزنك : $M(Zn) = 65{,}4\ g.mol^{-1}$.
- ثابتة فراداي: $F = 96500\ C.mol^{-1}$.
- ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة التفاعل: $2Al_{(s)} + 3Zn^{2+}_{(aq)} \underset{2}{\overset{1}{\rightleftarrows}} 2Al^{3+}_{(aq)} + 3Zn_{(s)}$ هي $K = 10^{90}$ عند $25°C$.

نغلق قاطع التيار K عند اللحظة $t = 0$ ، فيمر في الدارة تيار كهربائي شدته I نعتبرها ثابتة : $I = 10{,}0\ mA$.

❶ احسب خارج التفاعل $Q_{r,i}$ في الحالة البدئية، ثم استنتج منحى التطور التلقائي للمجموعة الكيميائية.

❷ حدد ، معللا جوابك، الإلكترود الذي يمثل القطب السالب للعمود و الإلكترود الذي يمثل القطب الموجب.

❸ اكتب التبيانة الاصطلاحية لهذا العمود.

❹ ما دور القنطرة الملحية أثناء اشتغال العمود ؟

❺ نغلق قاطع التيار و نترك العمود يشتغل حتى يستهلك كليا.

أ – أوجد تعبير عمر العمود Δt_{max} بدلالة I و F و V و C_2. احسب Δt_{max} .

ب – استنتج كمية الكهرباء القصوى Q_{max} .

ج – احسب Δm_{Zn} تغير كتلة الزنك خلال المدة Δt_{max} .

د – احسب Δm_{Al} تغير كتلة الألومينيوم خلال المدة Δt_{max} .

استثمار:

① حساب $Q_{r,i}$: $Q_{r,i} = \dfrac{[Al^{3+}]_i^2}{[Zn^{2+}]_i^3} = \dfrac{C_1^2}{C_2^3} = \dfrac{(4{,}50.10^{-2})^2}{(4{,}50.10^{-2})^3} = 22{,}2$.

لدينا $Q_{r,i} < K$، إذن حسب معيار التطور التلقائي، ستتطور المجموعة في المنحى المباشر؛ المنحى 1: $2Al_{(s)} + 3Zn^{2+}_{(aq)} \rightarrow 2Al^{3+}_{(aq)} + 3Zn_{(s)}$

② تحديد قطبية العمود: نفكك المعادلة الحصيلة للتفاعل فنستنتج نصفي المعادلة أكسدة - اختزال:

- $Al_{(s)} \rightleftarrows Al^{3+}_{(aq)} + 3e^-$ و هو تفاعل **أكسدة**، إذن صفيحة الألومينيوم تمثل **القطب السالب** للعمود (**أنود**).
- $Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftarrows Zn_{(s)}$ و هو تفاعل اختزال، إذن صفيحة الزنك تمثل القطب الموجب للعمود (كاثود).

③ التبيانة الاصطلاحية للعمود هي: $\ominus\ Al_{(s)}/Al^{3+}_{(aq)}\ ||\ Zn^{2+}_{(aq)}/Zn_{(s)}\ \oplus$

④ يتجلى دور القنطرة الملحية في:
- تحقيق الحياد الكهربائي للمحاليل الإلكتروليتية داخل العود.
- توصيل التيار الكهربائي داخل العمود، نتيجة انتقال الأيونات عبرها.

⑤ **أ–** تعبير عمر العمود Δt_{max} بدلالة I و F و V و C_2 : ننشئ الجدول الوصفي للتفاعل عند إلكترود الزنك (لوجود التركيز C_2):

لدينا: $Q = n(e).F = I.\Delta t$

إذن: $n(e) = \dfrac{I.\Delta t}{F}$

من خلال ج. و.، كمية مادة الإلكترونات المتبادلة هي: $n(e) = 6x_f$

ومنه: $6.x_f = \dfrac{I.\Delta t}{F}$ أي: $x_f = \dfrac{I.\Delta t}{6F}$

الجدول الوصفي عند الكاثود (1)					
معادلة التفاعل		$3Zn^{2+}_{(aq)} + 6e^- \rightleftarrows 3Zn_{(s)}$			
حالة المجموعة		كميات المادة بـ (mol)			
الحالة البدئية	0	$n_i(Zn)$	▨	0	C_2V
الحالة النهائية	x_f	$n_i(Zn)+3x_f$	▨	$6x_f$	C_2V-3x_f

من جهة أخرى، حسب الجدول الوصفي، عند استهلاك العمود كليا، يكون: $C_2V - 3x_f = 0$

ومنه: $x_f = \frac{C_2V}{3}$

يعني أن: $\frac{I.\Delta t_{max}}{6F} = \frac{C_2V}{3}$ وبالتالي: $\Delta t_{max} = \frac{2F.C_2.V}{I}$.

تطبيق عددي: $\Delta t_{max} = \frac{2\times 96500\times 4,50.10^{-2}\times 100.10^{-3}}{10,0.10^{-3}} = 86850\ s = 24,1\ h$.

ب- حساب Q_{max} :

كمية الكهرباء القصوى الممنوحة من طرف العمود هي: $Q_{max} = I.\Delta t_{max} = 10,0.10^{-3}\times 86850 = 868,5\ C$.

ج- حساب Δm_{Zn} تغير كتلة الزنك خلال المدة Δt_{max} .

بصفة عامة، تغير كمية مادة نوع X هي: $\Delta n(X) = n_f(X) - n_i(X)$.

بما أن: $n(X) = \frac{m_X}{M_X}$ فإن: $m_X = M_X.n(X)$.

تغير كتلة الزنك هو:

$$\begin{aligned}\Delta m_{Zn} &= m_f(Zn) - m_i(Zn)\\ &= M_{Zn}.n_f(Zn) - M_{Zn}.n_i(Zn)\\ &= M_{Zn}.\left[n_f(Zn) - n_i(Zn)\right]\end{aligned}$$

حسب الجدول الوصفي:

$$\Delta m_{Zn} = M_{Zn}.\left[n_i(Zn) + 3x_f - n_i(Zn)\right] = 3x_f.M_{Zn}$$

$$\Delta m_{Zn} = 3\frac{C_2.V}{3}.M_{Zn} = C_2.V.M_{Zn}$$

أو:

$$\Delta m_{Zn} = 3\frac{I.\Delta t_{max}.M_{Zn}}{6F} = \frac{I.\Delta t_{max}.M_{Zn}}{2F}$$

$$\Delta m_{Zn} = 4,50.10^{-2}\times 0,100\times 65,4 = 0,294\ g$$

- نلاحظ أن $\Delta m_{Zn} > 0$ إذن كتلة فلز الزنك تتزايد (توضع فلز الزنك على صفيحة الزنك). كتلة الزنك المتكونة هي $0,294g$.

د- حساب Δm_{Al} تغير كتلة الألومينيوم خلال المدة Δt_{max} . (ننجز الجدول الوصفي للتفاعل عند إلكترود الألومينيوم)

لدينا:

$$\begin{aligned}\Delta m_{Al} &= m_f(Al) - m_i(Al)\\ &= M_{Al}.n_f(Al) - M_{Zn}.n_i(Al) = M_{Al}.\left[n_f(Al) - n_i(Al)\right]\end{aligned}$$

حسب الجدول الوصفي:

$$\Delta m_{Al} = M_{Al}.\left[n_i(Al) - 2x_f - n_i(Al)\right] = -2x_f.M_{Al}$$

$$\Delta m_{Al} = -\frac{2C_2.V.M_{Al}}{3}$$

أو:

$$\Delta m_{Al} = -\frac{I.\Delta t_{max}.M_{Al}}{3F}$$

$$\Delta m_{Zn} = -\frac{2\times 4,50.10^{-2}\times 100.10^{-3}\times 27,0}{3} = -0,0810\ g$$

- نلاحظ أن $\Delta m_{Al} < 0$ إذن كتلة صفيحة الألومينيوم تناقص (تآكل صفيحة الألومينيوم). كتلة الألومينيوم المتفاعلة هي $0,081g$.

الجدول الوصفي عند الأنود (2)					
$2Al_{(s)} \rightleftarrows 2Al^{3+}_{(aq)} + 6e^-$					معادلة التفاعل
كميات المادة بـ (mol)					حالة المجموعة
0	C_1V	▨	$n_i(Al)$	0	الحالة البدئية
$6x_f$	$C_1V + 2x_f$	▨	$n_i(Al) - 2x_f$	x_f	الحالة النهائية

! يمكن إنجاز جدول وصفي واحد للمعادلة الحصيلة للتفاعل مع إضافة خانة خاصة بالإلكترونات المتبادلة.

! يجب اعتبار معاملات التناسب في كتابة نصف المعادلة أكسدة-اختزال.

الجزء الثالث

كيمياء C8

الدرس

أمثلة لتحولات قسرية

Exemples de transformations forcées

تمهيد

BESCO
BATTERIES BUILT TOUGH
ULTRA HI PERFORMANCE

مركم ذي رصاص.

- **كيف يتم شحن المركم ؟**
- **ما طبيعة التفاعلات التي تحدث أثناء عملية الشحن ؟**

التحولات التلقائية و القسرية في الأوساط البيولوجية: التنفس و التركيب الضوئي

الفئة المستهدفة	الغلاف الزمني (درس + تمارين)
الثانية بكالوريا - علوم فيزيائية و علوم رياضية	7 ساعات (2 + 5)

تصميم الدرس

- **التحولات القسرية:**
  - التحول التلقائي:
  - التحول القسري:
- **التحليل الكهربائي:**
  - تعريف:
  - التفاعلات التي تحدث عند الإلكترودين:
  - كمية الكهرباء و حصيلة المادة:
- **تطبيقات:**
  - التحليل الكهربائي لمحلول كلورور الصوديوم:
  - المركم ذي رصاص.
  - الطلاء الفلزي.

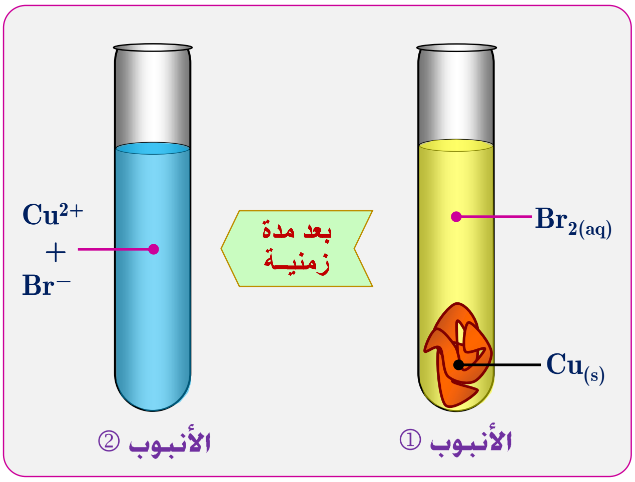
✍ تمرين موضوعاتي - الحل.

معارف و مهارات

- معرفة أن التحليل الكهربائي تحول قسري.
- تعرف، انطلاقا من معرفة منحى التيار المفروض، الإلكترود الذي تحدث عنده الأكسدة (الأنود)، و الإلكترود الذي يحدث عنده الاختزال (الكاثود).
- تمثيل تبيانة تركيب تجريبي للتحليل الكهربائي.
- كتابة معادلة التفاعل الحاصل عند كل إلكترود (باستعمال سهمين) والمعادلة الحصيلة (باستعمال سهم واحد).
- إيجاد العلاقة بين كمية المادة للأنواع الكيميائية المتكونة أو المستهلكة وشدة التيار ومدة التحليل الكهربائي و استغلالها في تحديد مقادير أخرى (تقدم التفاعل، تغير كتلة، حجم غاز...)

1 التحول التلقائي :

نشاط 1- تجريبي:


Br$_{2(aq)}$
Cu$_{(s)}$
الأنبوب ①
بعد مدة زمنية
Cu^{2+}
+
Br^{-}
الأنبوب ②

- نضع في أنبوب اختبار (الأنبوب ①: الحالة البدئية) سلكا من النحاس $Cu_{(s)}$ و نضيف إليه قليلا من محلول مائي لثنائي البروم تركيزه $[Br_2]_i = 10^{-2}\ mol.L^{-1}$.
- في الحالة البدئية يكون للخليط لونا أصفرا (مميز لثنائي البروم) ثم يتحول تدريجيا إلى اللون الأزرق (مميز لأيونات النحاس II) كما نلاحظ اختفاء فلز النحاس (الأنبوب ②: الحالة النهائية).
- معادلة التفاعل الحاصل هي :
  - بالنسبة للمزدوجة Cu^{2+}/Cu : $Cu \rightleftarrows Cu^{2+} + 2e^-$
  - بالنسبة للمزدوجة Br_2/Br^- : $Br_2 + 2e^- \rightleftarrows 2Br^-$

- المعادلة الحصيلة للتفاعل هي: $Cu_{(s)} + Br_{2\,(aq)} \longrightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2Br^{-}_{(aq)}$ (ثابتة التوازن لهذا التفاعل هي: $K = 1,2.10^{25}$)

لدينا: $Q_{r,i} = \dfrac{[Br^-]_i^2.[Cu^{2+}]_i}{[Br_2]_i} = \dfrac{0\times 0}{10^{-2}} = 0$

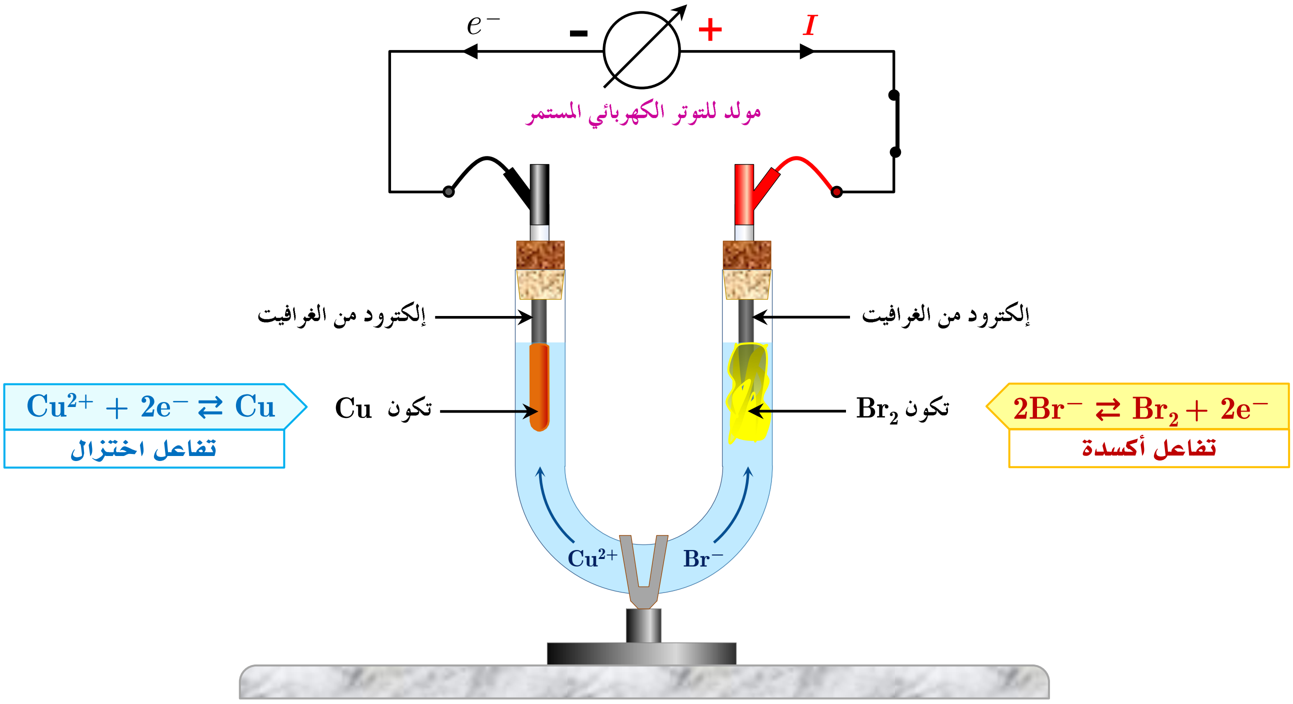
$Q_{r,i} < K$: إذن ، حسب معيار التطور التلقائي، ستتطور المجموعة في المنحى المباشر. و هذا موافق للملاحظات التجريبية

2 التحول القسري:

نشاط 2 - محاكاة:

نملأ أنبوبا على شكل U بمحلول مائي لبرومور النحاس II $(Cu^{2+}_{(aq)} + 2Br^{-}_{(aq)})$ و ننجز التركيب التجريبي التالي.

بعد مدة زمنية نلاحظ توضع فلز النحاس $Cu_{(s)}$ على الإلكترود المرتبط بالقطب السالب للمولد و ظهور ثنائي البروم Br_2 عند الإلكترود المرتبط بالقطب الموجب للمولد.

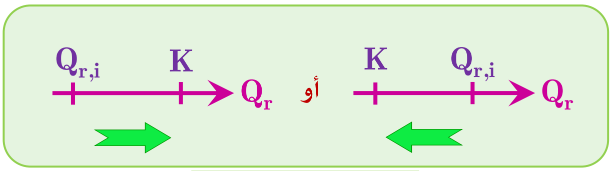

e^-
-
+
I
مولد للتوتر الكهربائي المستمر
إلكترود من الغرافيت
إلكترود من الغرافيت
تكون Cu
تكون Br_2
$Cu^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Cu$
تفاعل اختزال
$2Br^- \rightleftarrows Br_2 + 2e^-$
تفاعل أكسدة
Cu^{2+}
Br^-

↙ المعادلة الكيميائية للتحول الذي حدث هي: $Cu^{2+}_{(aq)} + 2Br^{-}_{(aq)} \longrightarrow Cu_{(s)} + Br_{2\,(aq)}$.

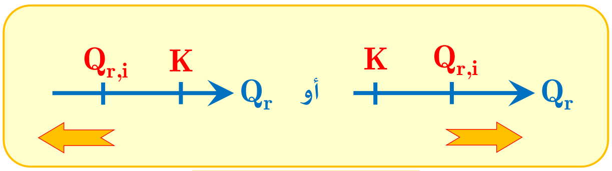
- هذا التحول معاكس للتحول التلقائي للمجموعة.
- لقد تم إنجاز تحول قسري، و الذي أصبح ممكنا عند استعمال مولد كهربائي يفرض منحى التيار الكهربائي في الدارة، أي منحى الإلكترونات.

خلاصة

- لإنجاز تحول قسري، يجب منح طاقة للمجموعة الكيميائية بواسطة جهاز خارجي، حيث يجبرها على التطور في المنحى المعاكس لمنحى التطور التلقائي.
- خلال تحول قسري يبتعد خارج التفاعل Q_r عن ثابتة التوازن K .



تحول تلقائي

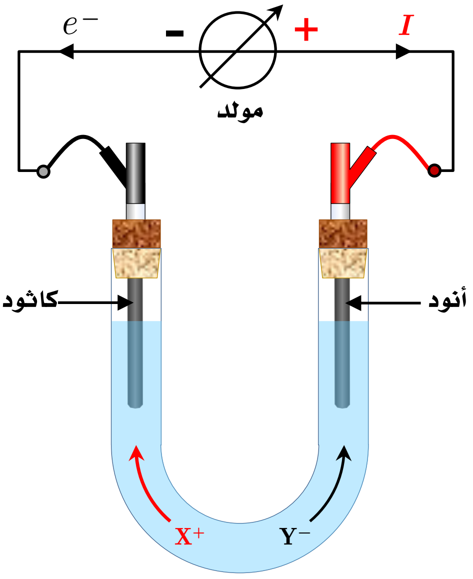


تحول قسري

II التحليل الكهربائي *électrolyse*

1 تعريف:

- التحليل الكهربائي تحول قسري ناتج عن مرور تيار كهربائي مفروض من طرف مولد لتوتر مستمر.
- يمنح المولد الطاقة الكهربائية اللازمة للمجموعة لإرغامها على التطور في المنحى المعاكس لمنحى التطور التلقائي.



ملحوظات

- يكون منحى التيار خارج العمود من القطب الموجب نحو القطب السالب.
- تتحرك الإلكترونات e^- في الإلكترودات و أسلاك التوصيل في المنحى المعاكس لمنحى التيار الكهربائي I.
- تتحرك الكاتيونات X^+ في نفس منحى التيار الكهربائي. و الأنيونات Y^- في المنحى المعاكس.
- الكاتيونات تنجذب نحو «الكاثود» : الإلكترود المرتبط بالقطب السالب للمولد و الأنيونات تنجذب نحو «الأنود» ؛ الإلكترود المرتبط بالقطب الموجب للمولد.

2 التفاعلات التي تحدث عند الإلكترودين:

خلال التحليل الكهربائي
- ✍ يكون الإلكترود المرتبط بالقطب **الموجب** للمولد مقر تفاعل **أكسدة**، و نسمي هذا الإلكترود **أنودا**.
- ✍ يكون الإلكترود المرتبط بالقطب **السالب** للمولد مقر تفاعل **اختزال**، و نسمي هذا الإلكترود **كاثودا**.

ملحوظات

- تُمَكِّن مَعرفة منحى التيار الكهربائي من معرفة تفاعلات الأكسدة الممكنة عند الأنود و تفاعلات الاختزال الممكنة عند الكاثود.
- يجب الأخذ بعين الاعتبار المذيب (الماء) و الإلكترودات لإمكانية تدخلها في هذه التحولات.
- يمكن تحديد نواتج التحليل الكهربائي انطلاقا من معرفة التفاعلين الحاصلين عند الإلكترودين.

3 كمية الكهرباء و حصيلة المادة:

- نعبر عن كمية الكهرباء التي تجتاز مقطعا من الدارة عندما يمر فيها تيار كهربائي شدته ثابتة I خلال مدة Δt بالعلاقة التالية :

$Q = I.\Delta t$	مع I بالأمبير (A) و Δt بالثانية (s) و Q بالكولوم (C) .

- أثناء عملية التحليل الكهربائي ، تتعلق كمية الكهرباء Q بكمية مادة الإلكترونات المتبادلة $n(e^-)$ حسب العلاقة :

$Q = n(e^-).F$	مع $n(e^-)$ بالمول (mol) و F ثابتة فرادواي $F = 96500\,C.mol^{-1}$.

1 التحليل الكهربائي لمحلول كلورور الصوديوم:

نشـاط

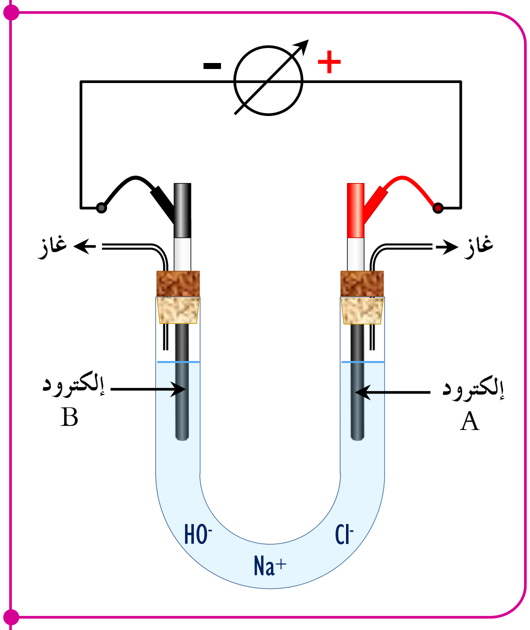
يُمكن التحليل الكهربائي لمحلول كلورور الصوديوم من الحصول على 95% من الانتاج العالمي لغاز ثنائي الكلور $Cl_{2\,(g)}$ و 3% من غاز ثنائي الهيدروجين $H_{2\,(g)}$.

ننجز التحليل الكهربائي لمحلول مائي مركز لكلورور الصوديوم $(Na^+_{(aq)}+Cl^-_{(aq)})$، فنلاحظ تصاعد غاز ثنائي الكلور عند أحد الإلكترودين و تصاعد غاز ثنائي الهيدروجين عند الإلكترود الآخر (انظر الشكل اسفله).

- خلا التحليل تتكون أيونات الهيدروكسيد $HO^-_{(aq)}$ التي تجعل الوسط قاعديا.
- الأنواع الكيميائية المتواجدة في المحلول هي: الإلكترودين (الغرافيت C) و الماء H_2O و أيونات الكلورور Cl^- و أيونات الصوديوم Na^+. هذه الأنواع تنتمي للمزدوجات التالية: H_2O/H_2 و O_2/H_2O و Cl_2/Cl^- و Na^+/Na.
- الإلكترودان من الغرافيت C لا يتفاعلان - نوعان هامدان.

– ثابتة فرادي: $1F = 9{,}65.10^4\ C.mol^{-1}$ ؛

– الحجم المولي في ظروف التجربة: $V_m = 24\ L.mol^{-1}$؛



❶ حدد الأنود و الكاثود من بين الإلكترودين (A) و (B)، علل جوابك.

❷ حدد منحى حركة الأيونات Na^+ و Cl^- و HO^- داخل الأنبوب.

❸ اكتب معادلات التفاعل الممكنة عند الأنود.

❹ اكتب معادلات التفاعل الممكنة عند الكاثود.

❺ بالاعتماد على الملاحظات التجريبية، استنتج المعادلة الحصيلة للتفاعل.

❻ يزود المولد الدارة بتيار كهربائي شدته ثابتة $I = 3\ A$ خلال مدة $\Delta t = 30min$.

1.6- أحسب كمية الكهرباء Q المررة خلال المدة Δt.

2.6- أحسب حجم $V(Cl_2)$ غاز ثنائي الكلور المتكون خلال المدة Δt.

استـثـمار

① الأنود هو الإلكترود A لأنه مرتبط بالقطب الموجب للمولد. و الكاثود هو الإلكترود B لأنه مرتبط بالقطب السالب للمولد.

② الأنيونات Cl^- و HO^- ستتحرك نحو الإلكترود A (الأنود). و الكاتيونات Na^+ ستتحرك نحو الإلكترود B (الكاثود).

③ معادلات التفاعل الممكنة عند الأنود هي تفاعلات أكسدة. يوجد في الوسط التفاعلي مختزلين هما H_2O و Cl^-. إذن:

$$\left(O_{2(g)}/H_2O_{(l)}\right):\ 2H_2O_{(l)} \rightleftarrows O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^- \quad \text{و} \quad \left(Cl_{2(g)}/Cl^-_{(aq)}\right):\ 2Cl^-_{(aq)} \rightleftarrows Cl_{2(g)} + 2e^-$$

④ معادلات التفاعل الممكنة عند الكاثود هي تفاعلات اختزال. يوجد في الوسط التفاعلي مؤكسدين هما H_2O و Na^+. إذن:

$$\left(H_2O_{(l)}/H_{2(g)}\right):\ 2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightleftarrows H_{2(g)} + 2HO^-_{(aq)} \quad \text{و} \quad \left(Na^+_{(aq)}/Na_{(s)}\right):\ Na^+_{(aq)} + e^- \rightleftarrows Na_{(s)}$$

⑤ نلاحظ تصاعد غاز ثنائي الكلور $Cl_{2(g)}$ و غاز ثنائي الهيدروجين $H_{2(g)}$ كما يصبح الوسط قاعديا (وجود HO^-). إذن المعادلة الحصيلة هي:

$$2H_2O_{(l)} + 2Cl^-_{(aq)} \longrightarrow H_{2(g)} + Cl_{2(g)} + 2HO^-_{(aq)}$$

⑥ (1- حساب كمية الكهرباء: $Q = I.\Delta t = 3\times(30\times60) = 5400\ C$

⑥ (2- حساب $V(Cl_2)$: ننشئ الجدول الوصفي باستعمال نصف المعادلة للتفاعل الحاصل عند الأنود (الإلكترود A).

معادلة التفاعل	$2Cl^-_{(aq)}$	$\rightleftarrows$	$Cl_{2(g)}$	$+\ 2e^-$
الحالة البدئية	$n_i(Cl^-)$		0	0
بعد مدة Δt	$n_i(Cl^-)-x$		x	$2x$

لدينا حسب الجدول الوصفي:

كمية مادة الإلكترونات المتبادلة هي: $n(e^-) = 2x$

كمية مادة ثنائي الكلور المتكونة هي: $n(Cl_2) = x$

نعلم أن: $Q = I.\Delta t = n(e^-).F$ إذن: $n(e^-) = \dfrac{I.\Delta t}{F}$

ومنه: $n(Cl_2) = \dfrac{n(e^-)}{2} \Leftarrow \dfrac{V(Cl_2)}{V_m} = \dfrac{I.\Delta t}{2F}$ و بالتالي: $V(Cl_2) = \dfrac{I.\Delta t.V_m}{2F} = \dfrac{3\times1800\times24}{2\times96500} = 0{,}67\ L$

2 المركم ذي رصاص:

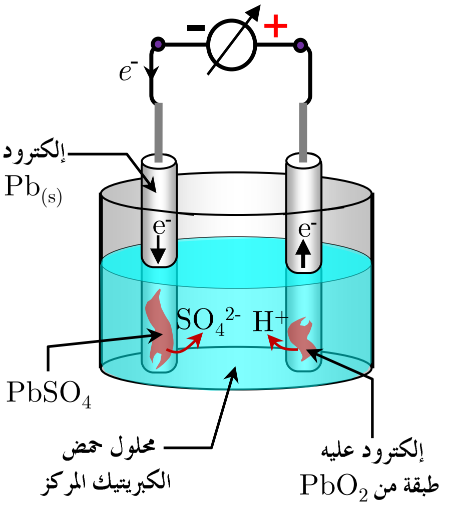
هذا النوع من المركمات شائع الاستخدام في السيارات، وتتكون معظم مركمات السيارات من 6خلايا، تولد كل منها $2V$ ليصبح ناتجها الكلي $12V$. يتكون الأنود في كل خلية من شبكتين مساميتين أو أكثر من الرصاص الخالص $Pb_{(s)}$ أما الكاثود فيتكون من شبكة واحدة من الرصاص مملوءة بثنائي أوكسيد الرصاص $PbO_2(s)$ مغمورين في محلول مائي لحمض الكبريتيك المركز $(2H^+_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)})$ تركيزه $C = 6\ mol.L^{-1}$.

- أثناء اشتغال المركم كمولد يحدث تحول تلقائي وفق المعادلة:

$$PbO_{2\,(s)} + 2SO^{2-}_{4\,(aq)} + 4H^+_{(aq)} + Pb_{(s)} \longrightarrow 2PbSO_{4\,(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

يعمل حمض الكبريتيك على توصيل التيار الكهربائي داخل المركم، إلا أنه يستهلك أثناء توليد المركم للتيار الكهربائي، كما تبين معادلة التفاعل التلقائي أعلاه ؛ فتحتاج البطارية إلى إعادة شحن، ويتم ذلك بتوصيل المركم الرصاصي بمصدر خارجي للتيار الكهربائي جهده أكبر بقليل من الجهد الذي يعطيه المركم، حيث ربط إلكترود الرصاص مع القطب السالب لمولد للتوتر المستمر $(3V)$ DC فتنعكس التفاعلات السابقة عند الأقطاب، و يحدث تحول قسري وفق المعادلة الحصيلة:

$$2PbSO_{4\,(s)} + 2H_2O_{(l)} \longrightarrow PbO_{2\,(s)} + 2SO^{2-}_{4\,(aq)} + 4H^+_{(aq)} + Pb_{(s)}$$



مركم ذي رصاص أثناء عملية الشحن

3 الطلاء الفلزي (أو الطلاء الكهربائي):

من أبرز تطبيقات التحليل الكهربائي عملية الطلاء الكهربائي؛ حيث يتم استخدام التحليل الكهربائي لترسيب طبقة رقيقة من الفلز المراد الطلاء به على المادة المطلوب طلاؤها ؛ لحمايتها من التآكل أو جعلها أكثر صلابة أو إكسابها مظهرا جميلا. ففي حياتنا اليومية نشاهد التحف والأواني المنزلية أو المقاعد الحديدية التي تبدو في ظاهرها كأنها صنعت من الفضة، ولكن بعد كشطها يتبين أنها مصنوعة من الحديد.

- **يستعمل الفلز المراد طلاؤه ككاثود ، و الفلز المراد توضعه كآنود، و أيوناته متواجدة في المحلول الإلكتروليتي.**

مثـــال

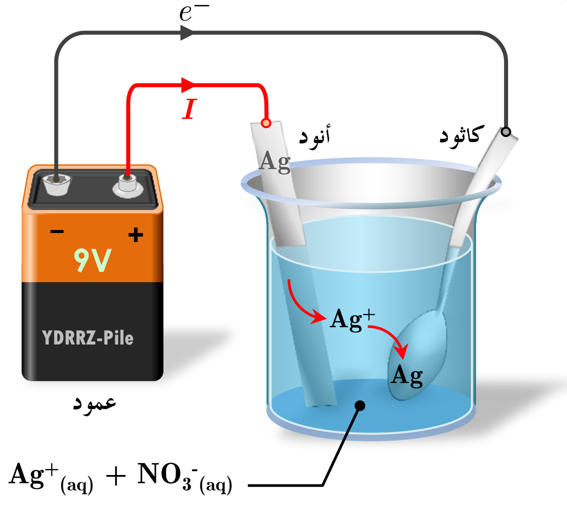
تبين التبيانة جانبه عملية الطلاء الفلزي لملعقة حديدية بطبقة من فلز الفضة $Ag(s)$؛ حيث تم ربط الملعقة (المراد طلاؤها) بالقطب السالب للمولد، بينما ربطت صفيحة الفضة بالقطب الموجب للمولد.

نغطس الإلكترودان (الملعقة الحديدية و صفيحة الفضة) في محول إلكتروليتي يحتوي على أيونات نترات الفضة $(Ag^+_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)})$.

عندما نغلق الدارة الكهربائية تتجه أيونات الفضة Ag^+ إلى الملعقة (الكاثود) فتختزل إلى ذرات الفضة و تترسب على الملعقة التي تكتسب بريقا لامعا.

$$Ag^+_{(aq)} + e^- \rightleftarrows Ag_{(s)}$$

يتم تعويض أيونات الفضة، التي تترسب على الملعقة الحديدية على شكل ذرات الفضة، بتأكسد ذرات الفضة المكوِّنة للأنود، و بالتالي يبقى تركيز أيونات الفضة ثابتا نتيجة عملية التحليل الكهربائي حسب التفاعل: $Ag \rightleftarrows Ag^+ + e^-$



ملحق

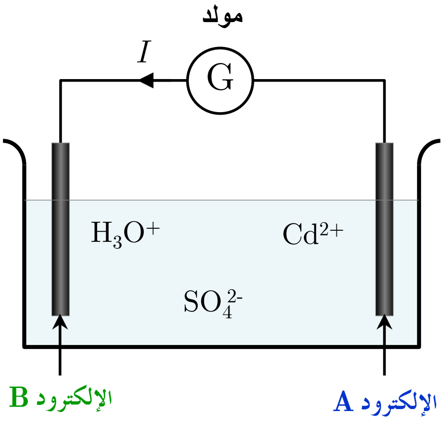
خلال اشتغال عمود	أوجه التشابه	خلال التحليل الكهربائي
– يحدث تفاعل تلقائي.		– يحدث تفاعل قسري .
– تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية.		– تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية.
– لا تحتاج إلى مصدر خارجي للتيار.	• تحدث الأكسدة عند الأنود	– تحتاج إلى مصدر خارجي للتيار.
– الكاثود قطب موجب.	• يحدث الاختزال عند الكاثود	– الكاثود مرتبط بالقطب السالب.
– الأنود قطب سالب.		– الأنود مرتبط بالقطب الموجب.

تمرين موضوعاتي | 30 min

يحضر فلز الكادميوم $Cd_{(s)}$ صناعيا بواسطة التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات الكادميوم $(Cd^{2+}_{(aq)} + SO_4{}^{2-}_{(aq)})$ و حمض الكبريتيك.
ينجز التحليل الكهربائي تحت توتر $3{,}1V$ و بواسطة مولد G يعطي تيارا كهربائيا شدته ثابتة $I = 25{,}0\ kA$.

معطيات:

- الكتلة المولية للكادميوم: $M(Cd) = 112{,}4\ g.mol^{-1}$.
- ثابتة فراداي: $F = 9{,}65.10^4\ C.mol^{-1}$.
- الحجم المولي : $V_m = 25{,}2\ L.mol^{-1}$.
- المزدوجتان المتدخلتان في هذا التفاعل هما: $Cd^{2+}_{(aq)} / Cd_{(s)}$ و $H_2O_{(l)} / O_{2(g)}$.



تبيانة مبسطة للتحليل الكهربائي المدروس

❶ عين الاقتراح الصحيح. التحليل الكهربائي هو تحول: **تلقائي** ؛ **قسري** ؛ **فيزيائي** ؛ **حمض–قاعدة**.

❷ حدد، معللا جوابك، الكاثود و الأنود من بين الإلكترودين A و B .

❸ ما هو الإلكترود الذي يتوضع عليه فلز الكادميوم ؟

❹ اكتب معادلة التفاعل الحاصل عند كل إلكترود و استنتج المعادلة الحصيلة.

❺ يستغرق التحليل الكهربائي مدة $\Delta t = 12{,}0\,h$.

1.5- احسب كمية الكهرباء Q الممررة خلال مدة التحليل.

2.5- أوجد كتلة الكادميوم $m(Cd)$ المتكونة خلال المدة Δt .

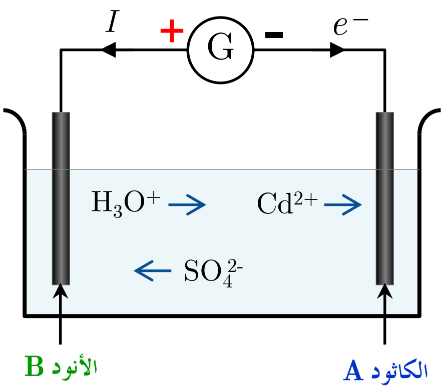
3.5- احسب $V(O_2)$ حجم غاز ثنائي الأوكسيجين الناتج.

عناصر الإجابة

① التحليل الكهربائي هو تحول قسري.

② خارج المولد، التيار الكهربائي يخرج من القطب الموجب للمولد ليدخل في قطبه السالب. إذن:

- ◂ الإلكترود A يمثل الكاثود لأنه مرتبط بالقطب السالب للمولد.
- ◂ الإلكترود B يمثل الأنود لأنه مرتبط بالقطب الموجب للمولد.



③ لكي يتوضع فلز الكادميوم يجب أن يحدث تفاعل اختزال. و هذا التفاعل يتم عند الكاثود.
و بالتالي فإن الكادميوم $Cd_{(s)}$ يتوضع على الإلكترود A.

④ **معادلات التفاعل:**

عند الكاثود يحدث تفاعل اختزال، المؤكسد الموجود في الوسط التفاعلي هو $Cd^{2+}_{(aq)}$:

إذن: $\left(Cd^{2+}_{(aq)}/Cd_{(s)}\right)$: $Cd^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftarrows Cd_{(s)}$

عند الأنود يحدث تفاعل أكسدة، المختزل الموجود في الوسط التفاعلي هو $H_2O_{(l)}$:

إذن: $\left(O_{2(g)}/H_2O_{(l)}\right)$: $2H_2O_{(l)} \rightleftarrows O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^-$

نحصل على المعادلة الحصيلة للتفاعل بجمع المعادلتين مع إقصاء الألكترونات: $2H_2O_{(l)} + 2Cd^{2+}_{(aq)} \longrightarrow 2Cd_{(s)} + O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)}$

⑤-1 حساب كمية الكهرباء : $Q = I.\Delta t = 25{,}0\times10^3 \times \left(12{,}0\times3600\right) = 1{,}08.10^9\ C$

⑤-2 تحديد كتلة الكادميوم المتكونة (ننشئ الجدول الوصفي الخاص بالكادميوم):

معادلة التفاعل	$Cd^{2+}_{(aq)}$	$+\ 2e^-$	$\rightleftarrows$	$Cd_{(s)}$
الحالة البدئية	$n_i(Cd^{2+})$	0		0
بعد مدة Δt	$n_i - x$	$2x$		x

كمية مادة الإلكترونات المتبادلة هي: $n(e^-) = 2x$

كمية مادة الكادميوم المتكونة هي: $n(Cd) = x$ مع: $n(Cd) = \dfrac{m(Cd)}{M(Cd)}$

و: $Q = I.\Delta t = n(e^-).F$ أي: $n(e^-) = \dfrac{I.\Delta t}{F}$

ومنه: $n(Cd) = \dfrac{n(e^-)}{2} \Leftarrow \dfrac{m(Cd)}{M_{Cd}} = \dfrac{I.\Delta t}{2F}$ و بالتالي: $m(Cd) = \dfrac{I.\Delta t.M_{Cd}}{2F} = \dfrac{1{,}08\times10^9\times112{,}4}{2\times96500} = 6{,}29.10^5\ g$

⑤-3 حساب $V(O_2)$ الناتج (ننشئ الجدول الوصفي الخاص بتفاعل الأكسدة):

باتباع نفس مراحل السؤال السابق، نتوصل إلى :

معادلة التفاعل	$2H_2O_{(l)}$	$\rightleftarrows$	$O_{2(g)}$	$+4H^+_{(aq)}$	$+4e^-$
الحالة البدئية	وافر		0	وافر	0
بعد مدة Δt	وافر		x	وافر	$4x$

$$V(O_2) = \frac{I.\Delta t.V_m}{4F} = \frac{1{,}08\times10^9\times25{,}2}{4\times96500} = 7{,}05.10^4\ L$$

الجزء الرابع

كيفية التحكم في تطور المجموعات الكيميائية

محتوى الجزء:

- **الوحدة 9:** تفاعلات الأسترة و الحلمأة.
- **الوحدة 10:** التحكم في تطور المجموعات الكيميائية.

BienManger.com
Arome
BANAN

ASPIRINE
UPSA® 500 mg
acide acétylsalicylique
Douleurs et fièvre
20 COMPRIMÉS EFFERVESCENTS
UPSA
ASPIRINE 500 mg

الجزء الرابع 1

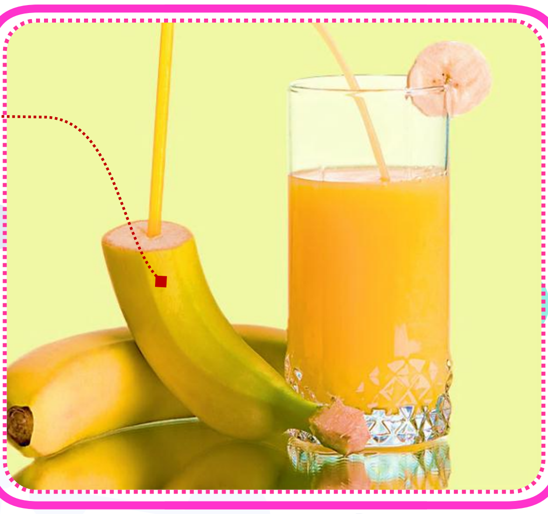
كيمياء C9

الدرس

تفاعلات الأسترة و الحلمأة

Réactions d'estérification et d'hydrolyse

تمهيد



◆ تعزى النكهة العطرة الموجودة في فاكهة الموز إلى وجود الإستر «إيثانوات البوتيل» و هو مركب عضوي يمكن تصنيعه انطلاقا من تفاعل حمض كربوكسيلي مع كحول أو مع أندريد الحمض.

- ما هي المجموعة المميزة للإستر؟
- ما هي مميزات التفاعل الموافق لتصنيع الإستر ؟ و كيف يمكن التحكم في هذا التفاعل ؟
- ما مردود هذا التصنيع ؟ و كيف يمكن تحسينه ؟

الفئة المستهدفة	الغلاف الزمني (درس + تمارين)
الثانية بكالوريا ـ جميع الشعب و المسالك العلمية	6 ساعات (1 + 5)

تصميم الدرس

- **مجموعة الإسترات،**
  - مجموعة الكحولات:
  - مجموعة الأحماض الكربوكسيلية:
  - مجموعة أندريد الحمض:
  - مجموعة الإسترات:
- **تفاعلات الأسترة و الحلمأة،**
  - تفاعل الأسترة:
  - تفاعل حلمأة الإستر:
  - حالة التوازن الكيميائي أسترة - حلمأة:
- **التحكم في تفاعل الأسترة و الحلمأة،**
  - التحكم في سرعة التفاعل:
  - التحكم في الحالة النهائية لتفاعل كيميائي.
- ✍ تمرين موضوعاتي - الحل.

معارف و مهارات

- معرفة المجموعات المميزة: $-\mathrm{COOH}$ و $-\mathrm{OH}$ و $-\mathrm{CO_2R}$ و $-\mathrm{CO{-}O{-}CO}-$ في نوع كيميائي.
- كتابة معادلات تفاعلات الأسترة والحلمأة.
- إيجاد صيغتي الحمض الكربوكسيلي والكحول الموافقتين انطلاقا من الصيغة نصف المنشورة للإستر.
- تسمية الإسترات المتضمنة لخمس ذرات كربون على الأكثر.
- معرفة مميزتي كل من تفاعل الأسترة وتفاعل الحلمأة (محدود وبطيء جدا).
- معرفة أن الحفاز يزيد في سرعة التفاعل دون أن يغير حالة توازن المجموعة.
- معرفة أن وجود أحد المتفاعلات بوفرة أو إزالة أحد النواتج، يزيح حالة توازن المجموعة في المنحى المباشر.
- تحديد تركيب الخليط عند لحظة معينة.

I مجموعة الإسترات *groupe des esters*

الإسترات مركبات عضوية بعضها يتميز برائحة عطرة، و توجد أنواع كثيرة منها في الفواكه و الأزهار والنكهات الطبيعية. و نظرا لأهمية هذه المركبات في صناعة الأدوية و الصناعات الغذائية كإضفاء النكهات على المواد الغذائية و المشروبات و صناعات العطور. يتم تصنيعها بكميات كبيرة و بتكلفة أقل، و ذلك عن طريق التفاعل بين **كحولات** و **أحماض كربوكسيلية**. أو بين كحول و **أندريد الحمض**.

1 مجموعة الكحولات : groupe des alcools

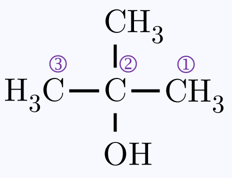
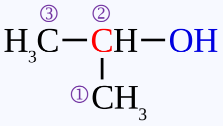
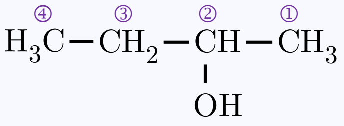
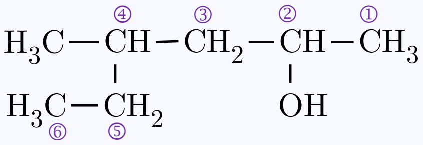
- تحتوي الكحولات على المجموعة المميزة $-OH$ التي تسمى هيدروكسيل.
- الصيغة العامة للكحولات هي $R-OH$ حيث R ألكيل ذو سلسلة خطية أو متفرعة.

تسمية الكحولات:

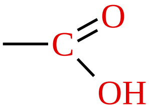
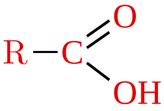
نسمي الكحول باسم الألكان الذي له نفس الهيكل الكربوني، مع إضافة المقطع «ول» عند نهاية الإسم بالنسبة للميثانول و الإيثانول، و المقطع «أول - ol» بالنسبة للكحولات الأخرى، مع إضافة أصغر رقم قبل هذا المقطع ليدل على موضع الهيدروكسيل $-OH$ في السلسلة الرئيسية.

عدد ذرات الكربون	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
السابقة	مِيث	إِيثْ	بْرُوبْ	بُوتْ	بِنْتْ	هِكْس	هِبْتْ	أُوكْتْ	نُونْ	دِيك
préfixe	*méth*	*éth*	*prop*	*but*	*pent*	*hex*	*hept*	*oct*	*non*	*déc*

أمـثلة

H_3C-OH ميثانول	H_3C-CH_2-OH إيثانول	$H_3C-CH_2-CH_2-OH$ بروبان-1-أول	 $H_3\overset{③}{C}-\underset{\underset{OH}{\vert}}{\overset{\overset{CH_3}{\vert}}{\overset{②}{C}}}-\overset{①}{CH_3}$ 2-مثيل بروبان-2-أول
 $H_3\overset{③}{C}-\underset{\underset{①CH_3}{\vert}}{\overset{②}{CH}}-OH$ بروبان-2-أول	 $H_3\overset{④}{C}-\overset{③}{CH_2}-\underset{\underset{OH}{\vert}}{\overset{②}{CH}}-\overset{①}{CH_3}$ بوتان-2-أول	 $H_3C-\underset{\underset{\underset{⑥}{H_3C}-\underset{⑤}{CH_2}}{\vert}}{\overset{④}{CH}}-\overset{③}{CH_2}-\underset{\underset{OH}{\vert}}{\overset{②}{CH}}-\overset{①}{CH_3}$ 4-مثيل هكسان-2-أول	

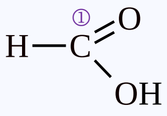
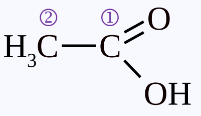
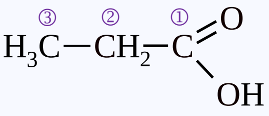
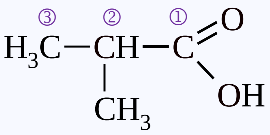
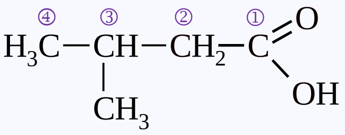
2 الأحماض الكربوكسيلية :acides carboxyliques

- الحمض الكربوكسيلي مركب عضوي يحتوي عل المجموعة المميزة كربوكسيل: $-COOH$ أو  .
- الصيغة العامة للأحماض الكربوكسيلية هي: $R-COOH$ أو  بحيث R جذر ألكيلي أو ذرة هيدروجين .

تسمية الأحماض الكربوكسيلية:

يسمى الحمض الكربوكسيلي باسم الألكان الموافق له، على أن يبدأ الإسم بكلمة «حمض» و يضاف إلى نهايته المقطع «ويك – oïque» و إذا كان الهيكل الكربوني المرتبط بالكربوكسيل متفرعا، نبحث عن أطول سلسلة كربونية محتوية على المجموعة $-COOH$ و نرقمها ابتداء من الكربون الوظيفي.

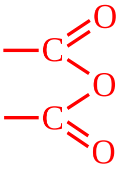
أمـثلة

 حمض الميثانويك	 حمض الإيثانويك	 حمض البروبانويك	 حمض-2-مثيل بروبانويك	 حمض-3-مثيل بوتانويك

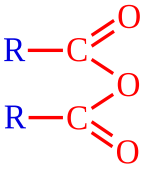
3 مجموعة أندريد الحمض anhydride d'acide:

أ- المجموعة المميزة لأندريد الحمض:

◄ أندريد الحمض مركب عضوي يحتوي على المجموعة المميزة



وصيغته العامة هي:

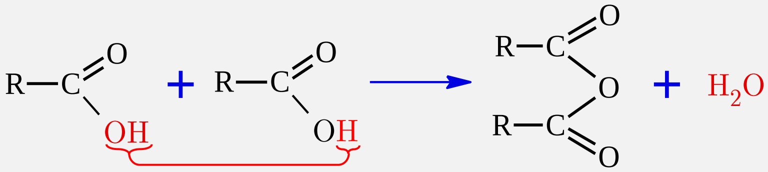


.

بحيث R ذرة هيدروجين أو مجموعة ألكيل.

ب- تسمية أندريد الحمض:

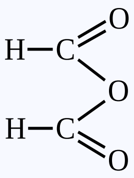
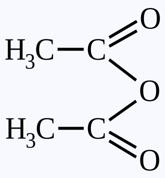
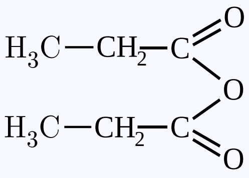
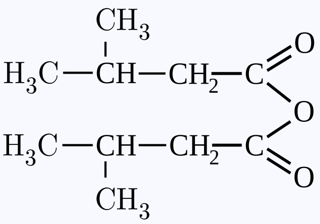
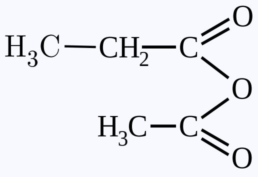
تأتي كلمة أَنِدْريد (التي تعني محروم من الماء أو لا مائي) لأندريدات الحمض من طريقة تصنيع هذه المركبات: حيث يتم إزالة جزيئة ماء ما بين جزيئتين لحمض كربوكسيلي (إزالة بيجزيئية *intermoléculaire*) حسب التفاعل التالي :



◄ لتسمية أندريد الحمض نعوض كلمة حِمْض بكلمة أندريد أمام اسم الحمض الكربوكسيلي الموافق.

◄ نحصل على اسم أندريد الحمض ذي البنية $R-CO-O-CO-R'$ و المشتق من حمضين كربوكسيليين بتعويض كلمة حمض بكلمة أندريد و وضع اسمي الحمضين بعده بترتيب الحروف الهجائية اللاتينية.

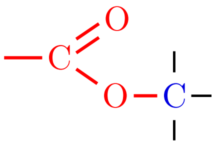
أمثلة

				
أندريد الميثانويك	أندريد الإيثانويك	أندريد البروبانويك	أندريد 3-مثيل البوتانويك	أندريد الإيثانويك البروبانويك

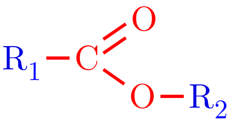
4 مجموعة الإسترات groupe des esters:

أ- المجموعة المميزة إستر:

◄ الإستر مركب عضوي يحتوي على المجموعة المميزة



وصيغته العامة هي:



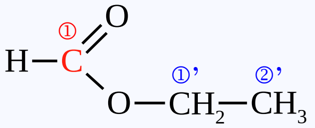
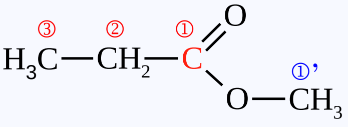
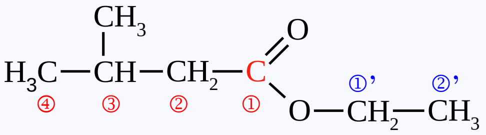
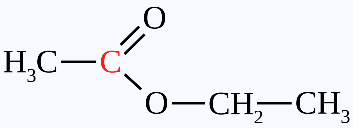
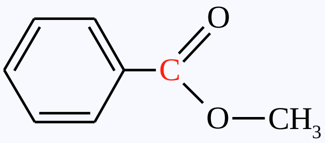
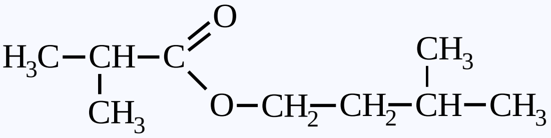
.

بحيث R_1 ذرة هيدروجين أو مجموعة ألكيل و R_2 مجموعة ألكيل فقط، و الكربون C هو الكربون الوظيفي للإستر.

ب- تسمية الإستر:

نحصل على اسم الإستر انطلاقا من اسم الحمض الكربوكسيلي الموافق بحذف لفظ «حمض» و تعويض المقطع «ويك - oïque» بالمقطع «oate – وات» ، متبوعا باسم الجذر الألكيلي المرتبط بذرة الأوكسجين برابطة بسيطة.

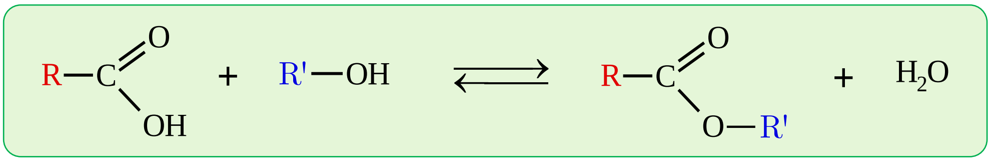
أمثلة

		
ميثانوات الإيثيل	بروبانوات الميثيل	3-مثيل بوتانوات الإيثيل
		
إيثانوات الإيثيل	بنزوات الميثيل	2-مثيل بروبانوات 3-مثيل البوتيل

II تفاعلات الأسترة و الحلمأة *réactions d'estérification et d'hydrolyse*

1 تفاعل الأسترة :estérification

- ◄ الأسترة تفاعل يتم بين حمض كربوكسيلي و كحول و ينتج عنه تكون إستر و ماء.
- ◄ تكتب معادلة تفاعل الأسترة على شكل:



ⓘ **ملحوظة هامة :** التحول المقرون بتفاعل الأسترة **بطيء جدا** و **محدود** (نستعمل سهمين في كتابة معادلة التفاعل).

نشاط 1

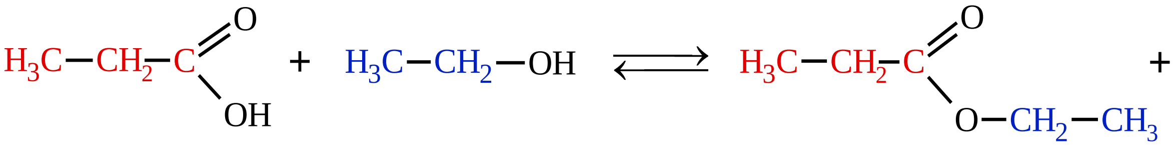
باستعمال الصيغ نصف المنشورة، اكتب معادلة التفاعل في الحالتين التاليتين، مع إعطاء أسماء المتفاعلات و النواتج.

❶ تفاعل حمض البروبانويك مع الإيثانول.

❷ تفاعل الأسترة الذي يؤدي إلى تكوين ميثانوات 2-مثيل البوتيل.

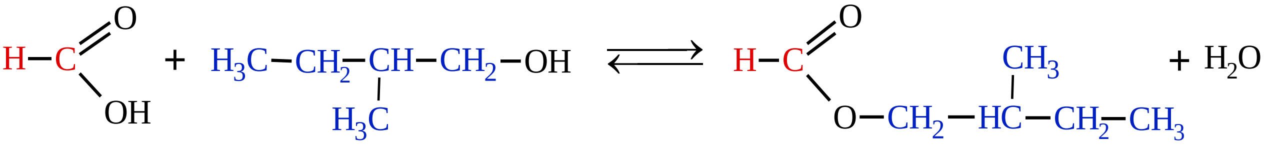
جواب:

①



حمض البروبانويك — الإيثانول — بروبانوات الإيثيل

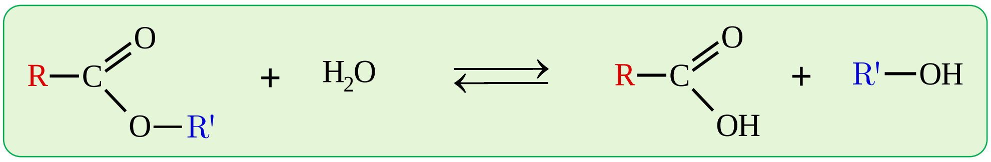
②



حمض الميثانويك — 2-مثيل بوتان-1-أول — ميثانوات 2-مثيل البوتيل

2 تفاعل حلمأة الإستر :hydrolyse d'ester

- ◄ حلمأة الإستر هو تفاعل هذا الإستر مع الماء، و ينتج عنه حمض كربوكسيلي و كحول و هو تفاعل معاكس لتفاعل الأسترة.
- ◄ تكتب معادلة تفاعل حلمأة الإستر على شكل:

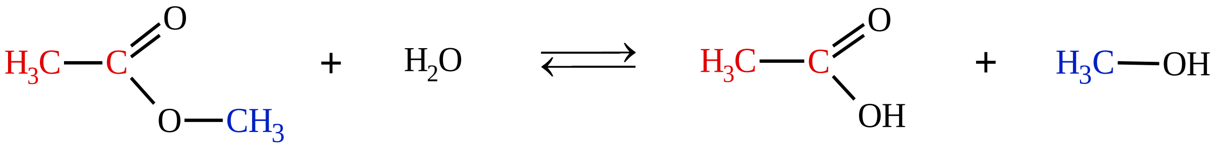


ⓘ **ملحوظة هامة :** التحول المقرون بتفاعل حلمأة الإستر **بطيء جدا** و **محدود** (نستعمل سهمين في كتابة معادلة التفاعل).

نشاط 2

باستعمال الصيغ نصف المنشورة، اكتب معادلة التفاعل المقرون بحلمأة إيثانوات الميثيل مع إعطاء أسماء النواتج.

جواب:



إيثانوات الميثيل — حمض الإيثانويك — الميثانول

3 حالة التوازن الكيميائي أسترة - حلمأة:

- الأسترة و الحلمأة تفاعلان عكوسان و محدودان و آنيان.
- عندما تتساوى سرعتي تفاعل الأسترة و الحلمأة ، نحصل على حالة توازن ديناميكي تتميز بتواجد المتفاعلات و النواتج في آن واحد .

$$\text{حمض (acide)} + \text{كحول (alcool)} \underset{\text{حلمأة}}{\overset{\text{أسترة}}{\rightleftarrows}} \text{إستر (ester)} + \text{ماء (eau)}$$

- تعبير ثابتة التوازن K هو: $K=\dfrac{[ester]_{éq}.[eau]_{éq}}{[acide]_{éq}.[alcool]_{éq}}$

ملحوظات:

- تركيز الماء يكتب في تعبير خارج التفاعل و ثابتة التوازن، لأن الماء ليس وافرا و ليس مذيبا.
- ثابتة التوازن K لا تتعلق بدرجة الحرارة (تفاعل لا حراري)، هذه الخاصية تميز تفاعلات الأسترة و الحلمأة.
- بالنسبة لخليط متساوي المولات، نحصل على حالة التوازن نفسها سواء انطلقنا من الحمض و الكحول أو من الماء و الإستر.

نشاط 3

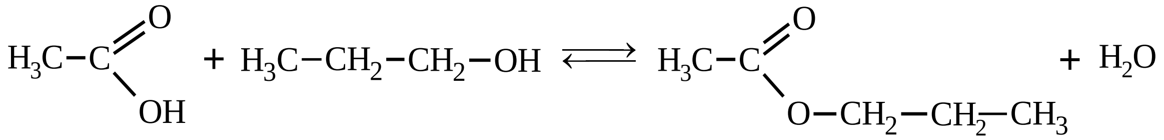
لتصنيع إستر (E)، تتفاعل كمية المادة n_1 من حمض الإيثانويك مع كمية المادة n_2 من البروبان-1-أول. عند التوازن تحتوي المجموعة ذات الحجم V، على $n_{1,éq}=0,18\ mol$ من الحمض و $n_{2,éq}=0,11\ mol$ من الكحول $n_{3,éq}=0,28\ mol$ من الإستر $n_{4,éq}=0,28\ mol$ من الماء.

❶ اكتب معادلة هذا التفاعل و سم الإستر (E).

❷ احسب قيمة ثابتة التوازن K المقرونة بهذا التفاعل.

جواب:

① معادلة التفاعل:



اسم الإستر (E) هو إيثانوات البروبيل.

② حساب K:

$$K=\frac{[CH_3COOCH_2CH_2CH_3]_{éq}.[H_2O]_{éq}}{[CH_3COOH]_{éq}.[CH_3CH_2CH_2OH]_{éq}}=\frac{\frac{n_{3,éq}}{V}.\frac{n_{4,éq}}{V}}{\frac{n_{1,éq}}{V}.\frac{n_{2,éq}}{V}}=\frac{n_{3,éq}.n_{4,éq}}{n_{1,éq}.n_{2,éq}}=\frac{0,28\times0,28}{0,18\times0,11}=4,0$$

III التحكم في تفاعل الأسترة و الحلمأة contrôle de la réaction

تفاعلات الأسترة و الحلمأة بطيئة و محدودة. كيف يمكن الرفع من سرعة التفاعل و نسبة التقدم النهائي لتكون قريبة من 1 ؟

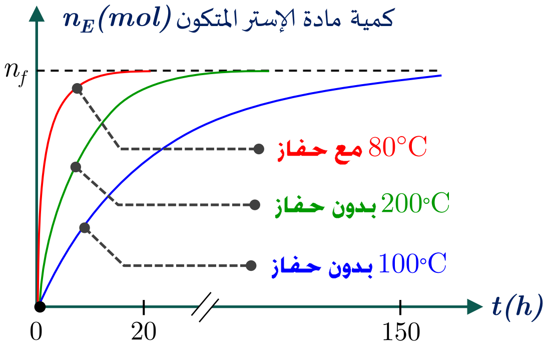
1 التحكم في سرعة التفاعل:

أ- تأثير درجة الحرارة:

- تمكن درجة الحرارة من تغيير سرعة تفاعل الأسترة و الحلمأة دون تغيير تركيب الخليط عند حالة التوازن.
  - لرفع سرعة التفاعل نرفع درجة حرارة الوسط التفاعلي.
  - لا تتغير نسبة التقدم النهائي τ بتغيير درجة الحرارة.

ب- تأثير الحفاز:

- الحفاز نوع كيميائي يزيد في سرعة التفاعل الكيميائي، ولا يظهر في معادلة التفاعل.
  - بإضافة الحفاز إلى الوسط التفاعلي نزيد في سرعة تفاعل الأسترة و الحلمأة
  - لا تتغير نسبة التقدم النهائي τ عند إضافة الحفاز.



مثال

- للرفع من سرعة تفاعلات الأسترة و الحلمأة نضيف أيونات الأوكسونيوم H_3O^+ و ذلك بإضافة قطرات من حمض الكبريتيك المركز.
- عند تفاعل حمض الإيثانويك مع الميثانول نحصل على الحالة النهائية بعد 20 ساعة تحت 200°C عوض 150ساعة تحت 100°C .

2 التحكم في الحالة النهائية لتفاعل كيميائي:

أ- مردود تحول كيميائي:

- مردود تحول كيميائي r هو خارج قسمة كمية المادة للناتج المحصل عليه تجريبيا n_{exp} على كمية المادة للناتج إذا كان التحول كليا n_{th} :

$$\boxed{r = \frac{n_{exp}}{n_{th}}}$$

تركيب الخليط البدئي (mol)	حمض	5	2	1	1	1
	كحول	1	1	1	2	5
مردود التفاعل بـ %		95	85	67	85	95

- ينحصر المردود r بين 0 و 1 . و يمكن التعبير عنه بنسبة مئوية: $r\ \% = \frac{n_{exp}}{n_{th}} \times 100$.
- يتعلق المردود بتركيب الخليط البدئي (الجدول جانبه).

ب- تحسين مردود تفاعل الأسترة و الحلمأة:

- لتحسين مردود تفاعل أسترة أو حلمأة يمكن :
  - استعمال **أحد** المتفاعلين بوفرة.
  - إزالة **أحد** الناتجين خلال تكونه.

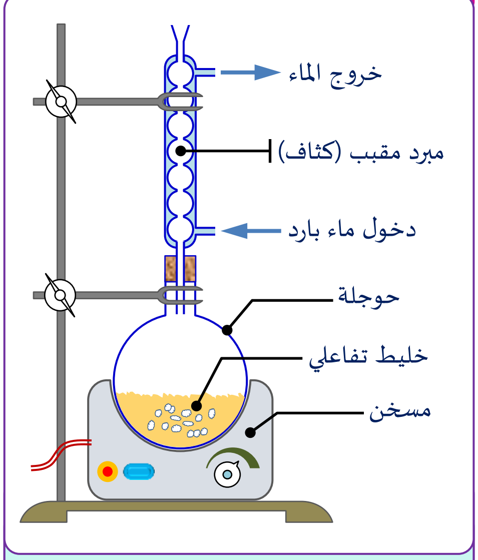
تفسير:

نعتبر تفاعل الأسترة التالي: $\text{Acide} + \text{Alcool} \xrightleftharpoons{\text{أسترة}} \text{Ester} + H_2O$.

تعبير خارج التفاعل عند لحظة معينة هو: $Q_r = \frac{[Ester].[H_2O]}{[Acide].[Alcool]}$

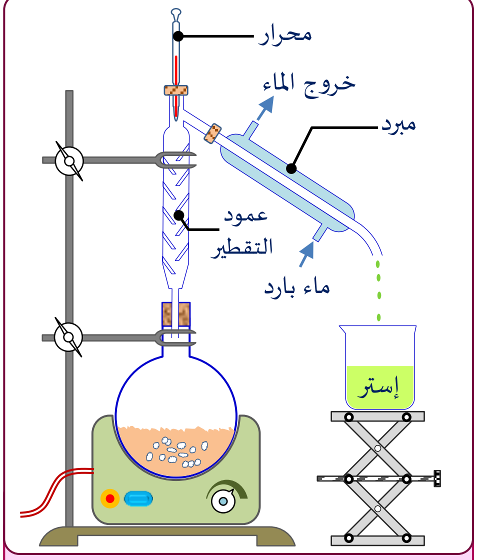
عند إضافة أحد المتفاعلين (حمض أو كحول)، أو عند إزالة أحد الناتجين (ماء أو إستر) يتناقص خارج التفاعل Q_r مما يجعل المجموعة في وضعية، حيث تكون قيمة Q_r أصغر من ثابتة التوازن K، فتتطور المجموعة تلقائيا في المنحى المباشر، مما يؤدي إلى إنتاج كمية مادة إضافية من الإستر و بالتالي الزيادة في قيمة مردود التفاعل.

ملحق:



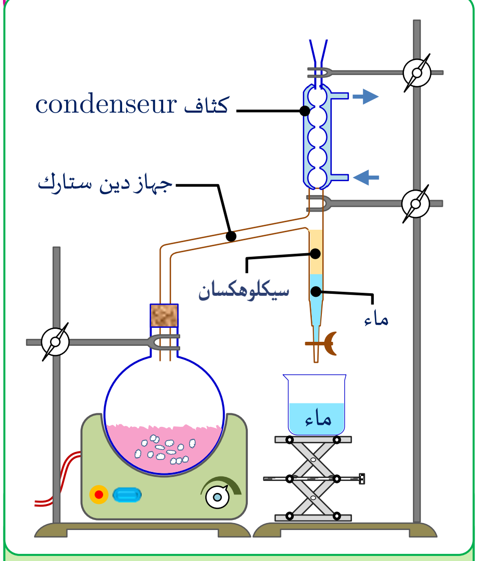
تركيب التسخين بالارتداد *chauffage à reflux*

- يستمل هذا التركيب في أغلب تفاعلات الأسترة و الحلمأة حيث يقوم بدورين أساسيين:
  - تسريع التفاعل؛ حيث ينجز التحول عند درجة حرارة عالية.
  - الحفاظ على المركبات الكيميائية من الضياع؛ حيث تتبخر المواد ثم تتكاثف في المبرد لتعود إلى الحوجلة.
- يضاف إلى الخليط التفاعلي حصى الخفاف الذي يعمل على تنظيم الغليان.



تركيب التقطير المجزأ *distillation fractionnée*

- يستعمل هذا التركيب لفصل مكونات خليط سائل أثناء غليانه، حيث يتكاثف المركب الأكثر تطايرا (ذو أقل درجة حرارة التبخر) في المبرد، بينما يرجع المركب الأقل تطايرا إلى الحوجلة؛
  - نستعمل هذا التركيب في عملية تقطير الإستر، حيث يتم إزالته من الخليط أثناء تكونه، و بالتالي تجنب حلمأته للحصول على مردود أفضل.



جهاز دين ستارك *Dean Stark*

- ندخل في الحوجلة الحمض و الكحول و السيكلوهكسان و حصى الخفاف.
- عند التسخين يتكون مركب مختلط «ماء-سيكلوهكسان» درجة غليانه أصغر من باقي مكونات الخليط. هذا المركب يصعد في جهاز دين ستارك ثم في المبرد فيتكاثف ثم يسقط في الانبوب المملوء مسبقا بالسيكلوهكسان.
- السيكلوهكسان يعود إلى الأنبوب أما الماء فيتم التخلص منه بفتح الصنبور، و بالتالي تجنب حلمأة الإستر و الحصول على مردود أفضل.

تمرين موضوعاتي | 30 min

تعزى نكهة الأناناس إلى وجود الإستر بروبانوات الإيثيل (E). يمكن تصنيع هذا الإستر انطلاقا من تفاعل حمض كربوكسيلي (A) مع كحول (B).

معطيات:

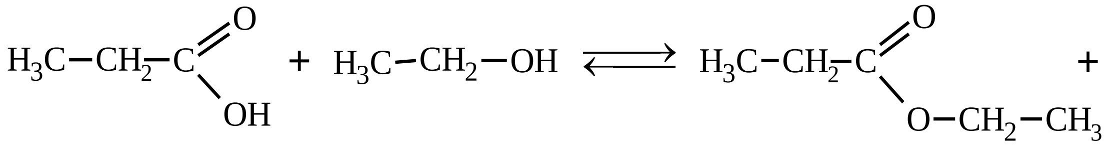
المركب العضوي	الكتلة المولية	الكتلة الحجمية
بروبانوات الإيثيل (E)	$M(E)=102\ g.mol^{-1}$	▨
الحمض الكربوكسيلي (A)	$M(A)=74\ g.mol^{-1}$	$\rho(A)=0{,}99\ g.mL^{-1}$
الكحول (B)	$M(B)=46\ g.mol^{-1}$	▨

نمزج في حوجلة حجما $V_A=15\,mL$ من الحمض (A) و كتلة $m=4{,}6\ g$ من الكحول (B). نضيف إلى الخليط بعض قطرات حمض الكبريتيك المركز و بعض حصيات حجر الخفاف؛ بعد التسخين بالارتداد لنصف ساعة، تكونت كتلة $m_E=8{,}60\ g$ من الإستر (E).

1. باستعمال الصيغ نصف المنشورة، اكتب معادلة تصنيع الإستر (E) انطلاقا من الحمض (A) و الكحول (B) و أعط اسم كل متفاعل.
2. ما اسم هذا التفاعل ؟ اذكر مميزتيه.
3. ما الفائدة من التسخين بالارتداد و من إضافة حمض الكبريتيك؟
4. احسب كمية المادة البدئية للمتفاعلين.
5. تحقق أن قيمة ثابتة التوازن هي $K=4{,}0$.
6. احسب قيمة r مردود هذا التصنيع.
7. اقترح طريقة تمكن من الرفع من مردود هذا التحول مع الاحتفاظ بنفس الحالة البدئية للمجموعة الكيميائية.

عناصر الإجابة

① **معادلة التفاعل:**



$$CH_3-CH_2-COOH + CH_3-CH_2-OH \rightleftharpoons CH_3-CH_2-COO-CH_2-CH_3 + H_2O$$

الحمض (A): **حمض البروبانويك** الكحول (B): **الإيثانول** الإستر (E) : بروبانوات الإيثيل

② **اسم و مميزات التفاعل:**

هذا التفاعل هو تفاعل **أسترة** (نحصل على إستر) . و هو تفاعل **بطيء** و **محدود**.

③ **الفائدة من التسخين بالارتداد هي:** تسريع التفاعل + الحفاظ على المركبات الكيميائية من الضياع.

الفائدة من إضافة حمض الكبريتيك هي: الزيادة في سرعة التفاعل؛ لأن الأيونات H_3O^+ محفزة لتفاعل الأستر.

④ **حساب كمية المادة البدئية للمتفاعلين:**

كمية المادة البدئية للحمض (A) : $n_i(A)=\dfrac{m(A)}{M(A)}=\dfrac{\rho(A).V_A}{M(A)}=\dfrac{0{,}99\times 15}{74}=0{,}20\ mol$

كمية المادة البدئية للكحول (B) : $n_i(B)=\dfrac{m_B}{M(B)}=\dfrac{4{,}6}{46}=0{,}10\ mol$

⑤ **التحقق من قيمة** K (ننشئ الجدول الوصفي):

معادلة التفاعل	$A_{(\ell)}$	$+\ B_{(\ell)}$	$\rightleftarrows$	$E_{(\ell)}$	$+\ H_2O_{(\ell)}$
الحالة البدئية	$n_i(A)$	$n_i(B)$		0	0
حالة وسيطة	n_A-x	n_B-x		x	x
حالة التوازن	$n_A-x_{éq}$	$n_B-x_{éq}$		$x_{éq}$	$x_{éq}$

$$K=\frac{[E]_{éq}.[H_2O]_{éq}}{[A]_{éq}.[B]_{éq}}=\frac{\dfrac{x_{éq}}{V}.\dfrac{x_{éq}}{V}}{\dfrac{(n_A-x_{éq})}{V}.\dfrac{(n_B-x_{éq})}{V}}$$

$$K=\frac{x_{éq}^2}{(n_A-x_{éq}).(n_B-x_{éq})}$$

- تحديد $x_{éq}$. حسب الجدول الوصفي، لدينا :

$$x_{éq}=n_E=\frac{m_E}{M(E)}=\frac{8{,}62}{102}=8{,}45.10^{-2}\ mol$$

و بالتالي: $$K=\frac{0{,}0845^2}{(0{,}20-0{,}0845)\times(0{,}10-0{,}0845)}=4{,}0$$

⑥ **حساب مردود التفاعل**، المتفاعل المحد هو الكحول (B): $r=\dfrac{n_{exp}}{n_{th}}=\dfrac{x_{éq}}{x_{max}}=\dfrac{n_E}{n_B}=\dfrac{8{,}45.10^{-2}}{0{,}10}=0{,}845=84{,}5\%$

⑦ **للرفع من مردود التفاعل** نزيل أحد الناتجين خلال تكونه؛ إزالة الإستر أو إزالة الماء (لتجنب حلمأة الإستر).

الجزء الرابع^2

كيمياء C10

الدرس

التحكم في تطورا لمجموعات الكيميائية بتغيير متفاعل

contrôle de l'évolution des systèmes chimiques par changement de réactif

تمهيد

SAVON DE MARSEILLE

- كيف يتم تحضير الإستر دون تكون الماء لتجنب حلمأته ؟ و في أية ظروف يمكن إنجاز حلمأة الإستر مع تجنب تواجد الحمض الكربوكسيلي مع كحول ؟
- يتم تحضير الصابون عن طريق تصبن الأجسام الدهنية. ما طبيعة هذا التفاعل و ماهي مميزاته ؟

الفئة المستهدفة	الغلاف الزمني (درس + تمارين)
الثانية بكالوريا ـ جميع الشعب و المسالك العلمية	6 ساعات (5 + 1)

تصميم الدرس

- **تصنيع إستر انطلاقا من أندريد الحمض و كحول،**
  - معادلة التفاعل:
  - تطبيق - تحضير الأسبيرين:
- **الحلمأة القاعدية للإسترات - التصبن،**
  - تفاعل إستر مع الأيونات HO^-:
  - تطبيق في تصبن الأجسام الدهنية:
  - خاصيات الصابون:
- **الحفز،**
  - تعريف:
  - أنواع الحفز.
  - اختيار الحفاز:

✍ تمرين موضوعاتي - الحل.

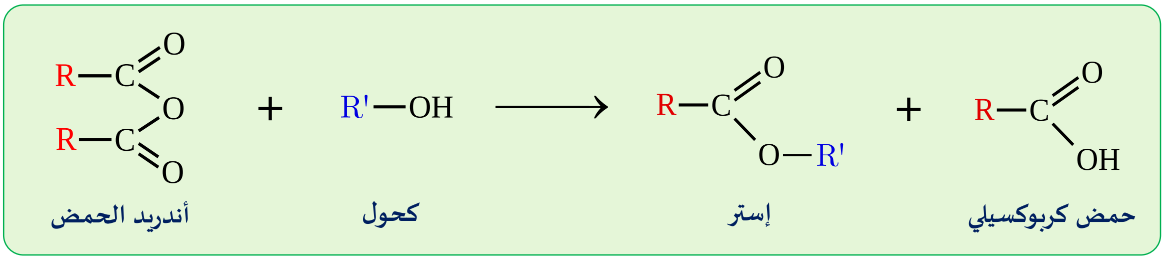
معارف و مهارات

- تعليل اختيار المعدات التجريبية واستخدامها في المختبر: التسخين بالارتداد، والتقطير المجزأ، والتبلور، والترشيح تحت الفراغ.
- تعرف قواعد السلامة.
- اقتراح بروتوكول تجريبي وتعليل مراحله.
- كتابة معادلة تفاعل أندريد حمض مع كحول، ومعادلة الحلمأة القاعدية لإستر.
- معرفة مميزتي تفاعل أندريد حمض مع كحول (تفاعل سريع وكلي).
- حساب مردود تحول كيميائي.
- تعرف الجزء الهيدروفيلي والجزء الهيدروفوبي لأيون كربوكسيلات ذي سلسلة طويلة.
- معرفة الدور التسريعي والانتقائي للحفاز.

I تصنيع إستر انطلاقا من أندريد الحمض و كحول:

1 معادلة التفاعل:

◄ يؤدي تفاعل أندريد الحمض مع كحول إلى تكوين إستر و حمض كربوكسيلي. وفق المعادلة:


أندريد الحمض
كحول
إستر
حمض كربوكسيلي

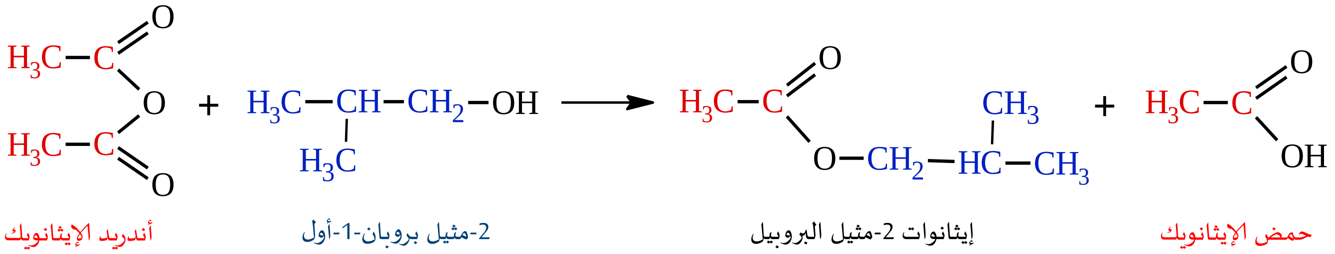
ⓘ ملحوظة هامة :

◗ تفاعل أندريد الحمض مع كحول تفاعل **سريع** و **كلي** يكون فيه التقدم النهائي قصويا (نستعمل سهما واحدا في كتابة معادلة التفاعل).

نشاط 1

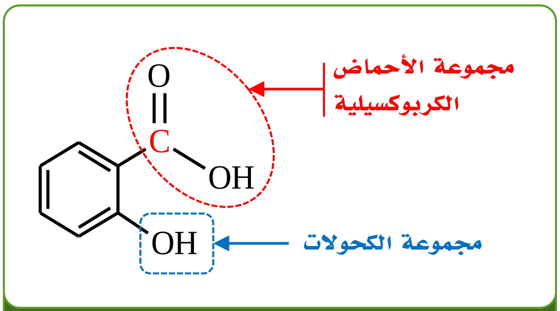
اكتب معادلة التفاعل التي يمكن من تركيب الإستر «إيثانوات 2-مثيل البروبيل» انطلاقا من أندريد حمض، مع اعط أسماء المتفاعلات و النواتج.

↩ جواب:

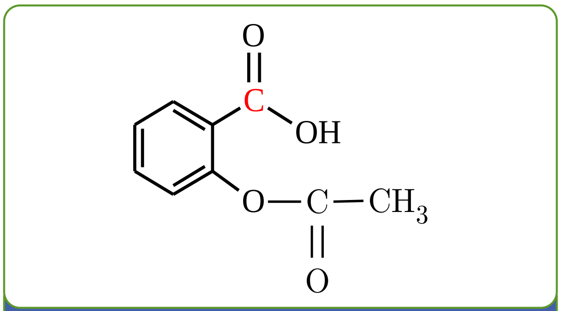

أندريد الإيثانويك
2-مثيل بروبان-1-أول
إيثانوات 2-مثيل البروبيل
حمض الإيثانويك

2 تطبيق: تحضير الأسبيرين

◄ الأسبيرين (aspirine) أو حمض الأستيلسليسليك (acide acétylsalicylique) مادة لها عدة استعمالات في المجال الطبي حيث يستعمل كمُسَكِّن للألم و مقاوم للحمى . و هو إستر يمكن تصنيعه انطلاقا من حمض السَّلِيسِلِيك الذي يلعب دور الكحول و أندريد الإيثانُويك.

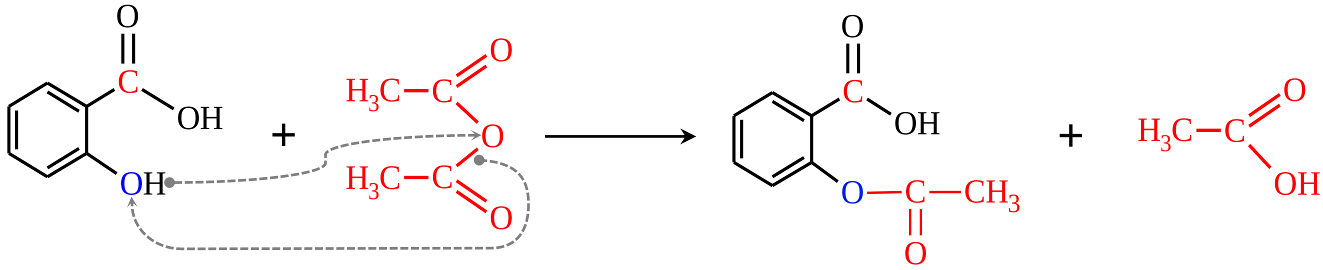

مجموعة الأحماض الكربوكسيلية
مجموعة الكحولات

حمض السليسليك يتوفر على مجموعتين مميزتين.



جزيئة الأسبيرين أو حمض الأستيلسليسليك.

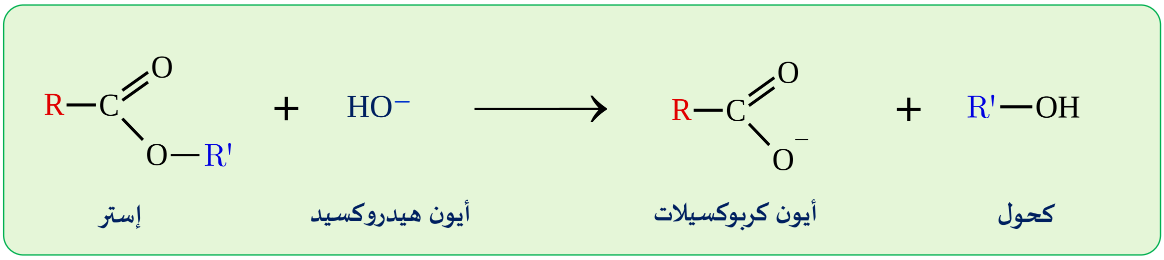
— معادلة التفاعل: باستعمال أندريد الإيثانويك عوض حمض الإيثانويك نحصل على تقدم أقصى و يكون التحول أسرع.


حمض السليسليك
أندريد الإيثانويك
حمض الأستيلسليسليك: الأسبيرين
حمض الإيثانويك

II الحلمأة القاعدية للإسترات – التصبن: hydrolyse basique des esters - saponification

1 تفاعل إستر مع الأيونات HO^-:

- يؤدي تفاعل إستر مع أيونات الهيدروكسيد HO^- إلى تكون كحول و أيون الكربوكسيلات (قاعدة مرافقة لحمض كربوكسيلي).



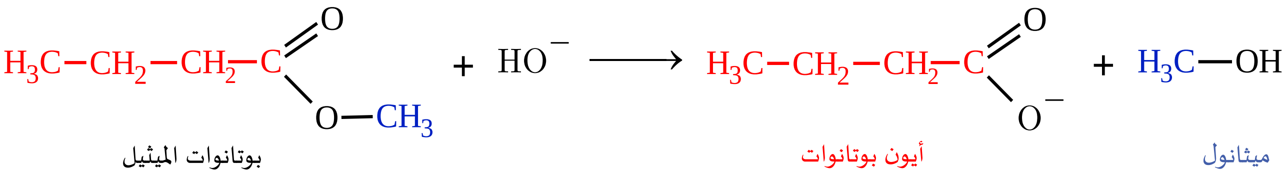
ⓘ ملحوظات هامة :

- تفاعل الإستر مع الأيونات HO^- تفاعل **سريع** و **كلي** يكون فيه التقدم النهائي قصويا $\tau = 1$ (نستعمل سهما واحدا في كتابة معادلة التفاعل).
- حلمأة الإستر بالماء تحول بطيء و محدود غير أن حلمأة الإستر بالأيونات HO^- سريع و كلي ⇦ بتغيير أحد المتفاعلين نتمكن من التحكم في التفاعل.
- يسمى هذا التفاعل تصبنا لأنه يؤدي إلى تحضير الصابون انطلاقا من مواد دهنية.

نشاط 2

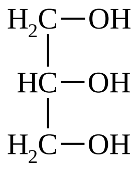
اكتب معادلة التفاعل الموافقة لتصبن بوتانوات الميثيل مع إعطاء أسماء النواتج.

جواب:



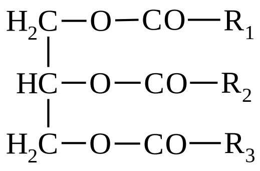
2 تطبيق في تصبن الأجسام الدهنية

- الأجسام الدهنية مثل الزيت و الشحم و الزبدة ... جزيئات عضوية ذات سلاسل كربونية طويلة و غير قطبية و بالتالي فهي غير قابلة للذوبان في الماء.
- يتم تحضير الصابون بتصبن الأجسام الدهنية التي تحتوي على المجموعة المميزة إستر.
- الصابون هو عبارة عن كربوكسيلات الصوديوم أو البوتاسيوم (القواعد المرافقة للأحماض الدهنية ذات سلاسل طويلة - بين 10 و 20 ذرة كربون) و ينتج عن تصبن ثلاثي الغليسيريد، و هو إستر ناتج عن تفاعل أسترة بين البروبان-1،2،3- ثلاثي أول (الغليسيرول) مع الأحماض الدهنية.



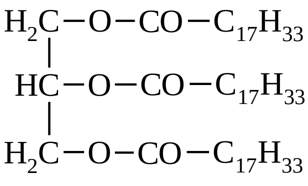
$$\begin{array}{l} H_2C-OH \\ \;| \\ HC-OH \\ \;| \\ H_2C-OH \end{array}$$

الغليسيرول



$$\begin{array}{l} H_2C-O-CO-R_1 \\ \;| \\ HC-O-CO-R_2 \\ \;| \\ H_2C-O-CO-R_3 \end{array}$$

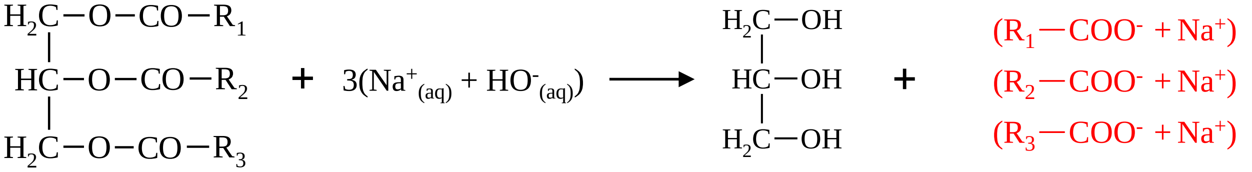
جسم دهني (ثلاثي غِليسيريد)



$$\begin{array}{l} H_2C-O-CO-C_{17}H_{33} \\ \;| \\ HC-O-CO-C_{17}H_{33} \\ \;| \\ H_2C-O-CO-C_{17}H_{33} \end{array}$$

الأولين Oléine: مادة دهنية أساسية في زيت الزيتون

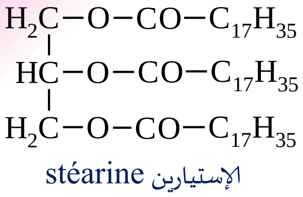
- معادلة التفاعل الموافقة لتصنيع الصابون (باستعمال هيدروكسيد الصوديوم) هي :



$$\begin{array}{l} H_2C-O-CO-R_1 \\ \;| \\ HC-O-CO-R_2 \\ \;| \\ H_2C-O-CO-R_3 \end{array} + 3(Na^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)}) \longrightarrow \begin{array}{l} H_2C-OH \\ \;| \\ HC-OH \\ \;| \\ H_2C-OH \end{array} + \begin{array}{l} (R_1-COO^- + Na^+) \\ (R_2-COO^- + Na^+) \\ (R_3-COO^- + Na^+) \end{array}$$

ⓘ ملحوظة : هذا التفاعل **بطيء** و **كلي**. باستعمال هيدروكسيد البوتاسيوم $(K^+ + HO^-)$ نحصل كربوكسيلات البوتاسيوم و هو صابون لين .

نشاط 3



$$\begin{array}{l} H_2C-O-CO-C_{17}H_{35} \\ \ \ | \\ HC-O-CO-C_{17}H_{35} \\ \ \ | \\ H_2C-O-CO-C_{17}H_{35} \end{array}$$

stéarine الإستيارين

اسْتِيَارَات الصوديوم $(\text{stéarate de sodium})$ صابون صلب نحصل عليه عن طريق التفاعل بين كتلة $m_{st}=73\ g$ من الإسْتِيارين (stéarine) - ثلاثي غليسيريد - مع كمية وافرة من هيدروكسيد الصوديوم المركز $(Na^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)})$.

ننجز هذا التصنيع باستعمال تركيب التسخين بالارتداد لمدة 30 دقيقة. بعد الفصل و التجفيف و التنقية نحصل على كتلة $m_{sav}=60g$ من الصابون.

◢ **نعطي**: الكتل المولية بالوحدة $g.mol^{-1}$: $M(H)=1,0$ ، $M(C)=12$ ، $M(O)=16$ ، $M(Na)=23$.

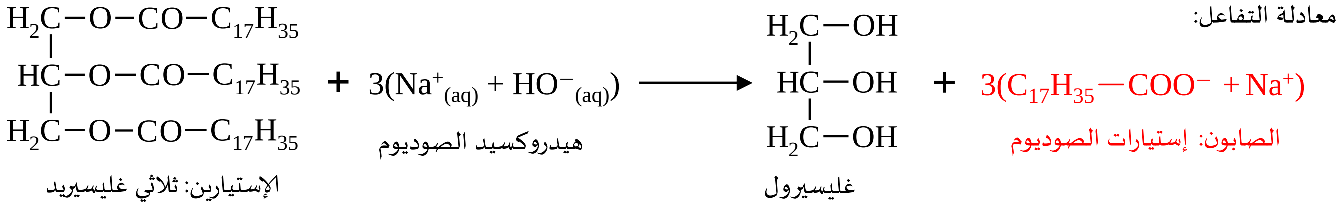
❶ اكتب معادلة هذا التصبن.

❷ تحقق أن قيمة المادة البدئية للإستيارين هي $n_{st}=8,2.10^{-2}\ mol$.

❸ احسب r مردود هذا التصنيع.

جواب:

① معادلة التفاعل:



$$\begin{array}{l} H_2C-O-CO-C_{17}H_{35} \\ HC-O-CO-C_{17}H_{35} \\ H_2C-O-CO-C_{17}H_{35} \end{array} + 3(Na^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)}) \longrightarrow \begin{array}{l} H_2C-OH \\ HC-OH \\ H_2C-OH \end{array} + 3(C_{17}H_{35}-COO^- + Na^+)$$

② التحقق من قيمة كمية المادة البدئية للإستيارين:

$$n_{st}=\frac{m_{st}}{M_{st}}=\frac{m_{st}}{57.M(C)+6.M(O)+110.M(H)}=\frac{73}{890}=8,2.10^{-2}\ mol$$

③ حساب مردود التصنيع:

لدينا: $r=\frac{n_{sav,exp}}{n_{sav,th}}$ مع $n_{sav,exp}$ كمية مادة الصابون المحصل عليها تجريبيا و تعبيرها $n_{sav,exp}=\frac{m_{sav}}{M_{sav}}$.

و $n_{sav,th}$ كمية مادة الصابون القصوى في الحالة النظرية. من خلال معادلة التفاعل نكتب: $n_{sav,th}=3\,n_{st}$. و بالتالي مردود التصنيع هو:

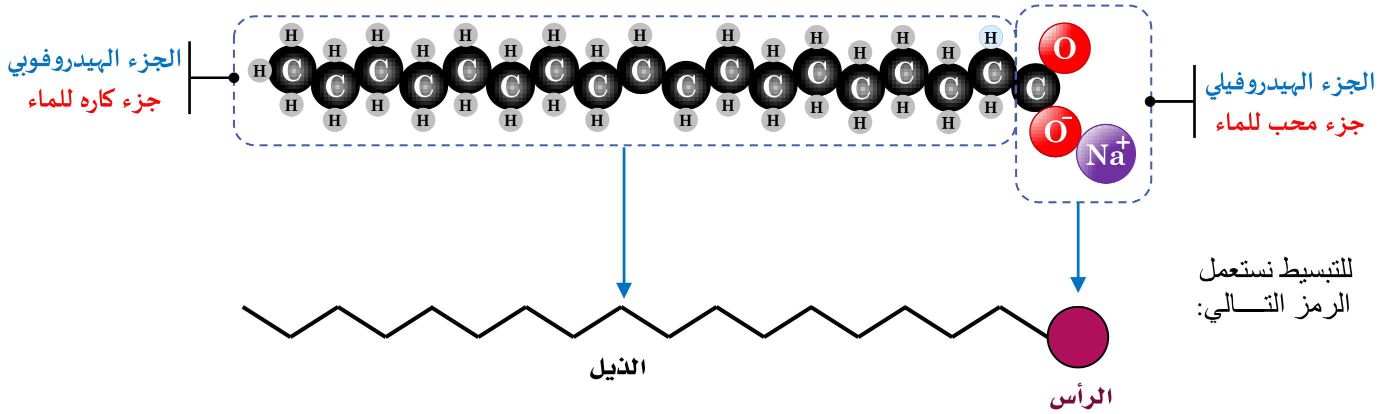
$$r=\frac{m_{sav}}{3.n_{st}.M_{sav}}=\frac{m_{sav}}{3.n_{st}.[18.M(C)+35.M(H)+2.M(O)+M(Na)]}=\frac{64,0}{3\times 8,2\times 10^{-2}\times 306}=85\%$$

3 خاصيات الصابون :

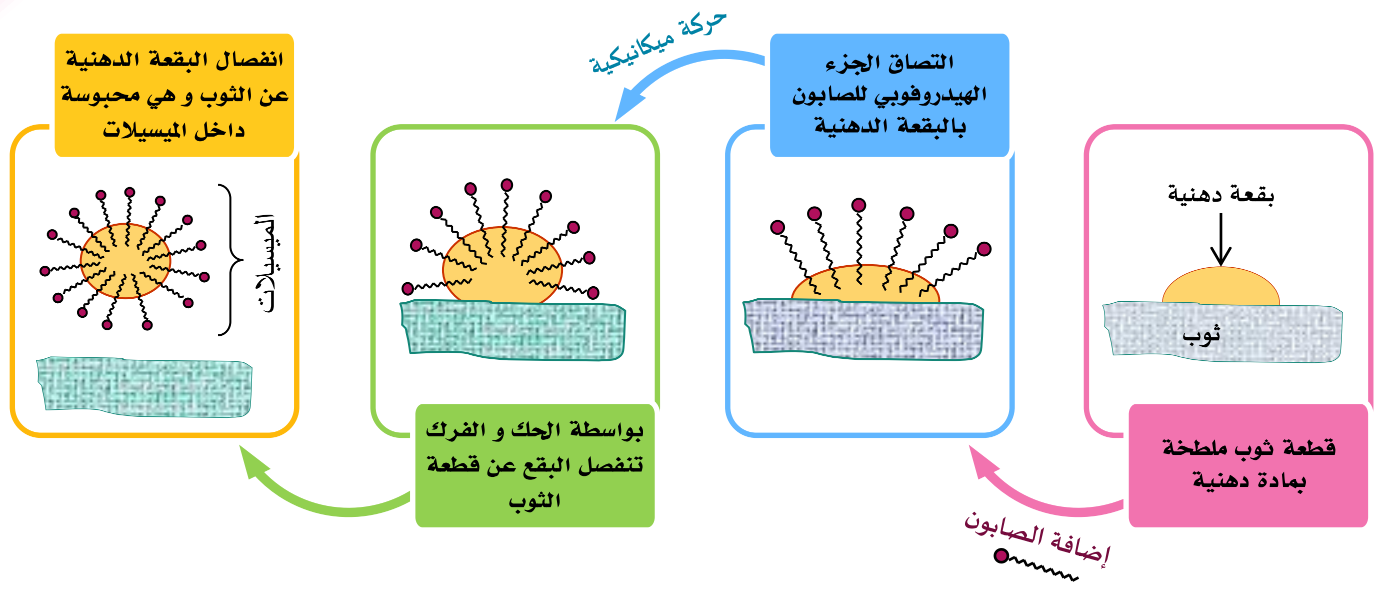
- الصابون قابل للذوبان في الماء المقطر $(100g/L)$، بالمقابل فهو قليل الذوبان في الماء المالح أو الماء الذي يحتوي على أيونات الكالسيوم Ca^{2+} أو أيونات المغنيزيوم Mg^{2+} و الذي يدعى « **ماء عَسِير** ».
- يتكون الصابون من خليط لكربوكسيلات الصوديوم أو البوتاسيوم صيغتها العامة $(R-COO^- + Na^+)$ أو $(R-COO^- + K^+)$ بحيث:
  - ← R يمثل سلسلة كربونية طويلة غير قابلة للذوبان في الماء (**كاره للماء**) و يدعى الجزء الهيدروفوبي $(hydrophobe)$ لكنه يقبل التماس مع الزيت لأن بنيته تشبه بنية الأجسام الدهنية.
  - ← المجموعة كربوكسيلات $-COO^-$ تُكَوِّن رأسا قطبيا يعطي للصابون ميزة هيدروفيلية (**محب للماء**) $(hydrophyle)$.

مثال: أوليات الصوديوم صابون نحصل عليه انطلاقا من تفاعل زيت الزيتون مع هيدروكسيد الصوديوم.

- للتبسيط نستعمل الرمز التـــالي:



ⓘ كيف يعمل الصابون على تنظيف الملابس من البقع الدهنية ؛


قطعة ثوب ملطخة بمادة دهنية
بقعة دهنية
ثوب
إضافة الصابون
التصاق الجزء الهيدروفوبي للصابون بالبقعة الدهنية
حركة ميكانيكية
بواسطة الحك و الفرك تنفصل البقع عن قطعة الثوب
انفصال البقعة الدهنية عن الثوب و هي محبوسة داخل الميسيلات
الميسيلات

III الحفز: catalyse

1) تعريف:

◄ الحفاز $(catalyseur)$ نوع كيميائي انتقائي و نوعي لا يغير حالة التوازن، ولا منحى تطور المجموعة، و إنما يزيد في سرعة التفاعل في المنحيين المباشر و المعاكس، دون أن يظهر في معادلة هذا التفاعل.

مثال : الأيونات H_3O^+ تحفز تفاعلي الأسترة و الحلمأة في آن واحد .

2) أنواع الحفز:

◗ **الحفز المتجانس catalyse homogène**: إذا كانت المتفاعلات و الحفاز كلها غازية، أو في محلول مائي.

مثال : أيون الكوبالت $Co^{2+}_{(aq)}$ يسرع التفاعل بين الماء الأوكسيجيني $H_2O_{2(aq)}$ و أيون الترترات $C_4H_4O_6^{2-}{}_{(aq)}$ (ion tartrate).

$$5H_2O_{2(aq)} + C_4H_4O^{2-}_{6(aq)} + 2H^+_{(aq)} \xrightarrow{Co^{2+}_{(aq)}} 4CO_{2(g)} + 8H_2O_{(l)}$$

◗ **الحفز غير المتجانس catalyse hétérogène**: عندما تكون الحالة الفيزيائية للمتفاعل و الحفاز مختلفة.

مثال : فلز البلاتين $Pt_{(s)}$ يسرع تحلل الماء الأوكسيجيني. و البلاديوم $Pd_{(s)}$ يسرع التفاعل بين بين أحادي أوكسيد الكربون و ثنائي الأوكسيجين.

$$2CO_{(g)} + O_{2(g)} \xrightarrow{Pd_{(s)}} 2CO_{2(g)} \quad | \quad 2H_2O_{2(aq)} \xrightarrow{Pt_{(s)}} 2H_2O_{(l)} + O_{2(aq)}$$

◗ **الحفز الأنزيمي catalyse enzymatique**: إذا كان الحفاز المستعمل أنزيما. و هو حفاز فعال جدا في الأوساط البيولوجية.

مثال : اليورياز $(uréase)$ حفاز أنزيمي يسرع تفاعل اليوريا $(urée)$ مع الماء حيث يتم التفاعل بسرعة كبيرة جدا مقارنة مع الحفاز H_3O^+

$$(NH_2)_2CO + H_2O \xrightarrow[t_{1/2}=4{,}4jrs]{H_3O^+} 2NH_3 + CO_2 \quad | \quad (NH_2)_2CO + H_2O \xrightarrow[t_{1/2}=430ns]{uréase} 2NH_3 + CO_2$$

اليوريا (أو البولة)

3) اختيار الحفاز:

◄ يُمَكِّن اختيار الحفاز النوعي في الصناعة من توجيه المجموعة الكيميائية في اتجاه تكون ناتج معين.

مثال :

← تحول الإيثانول إلى إيثانال باستعمال النحاس $Cu_{(s)}$ كحفاز(حفز غير متجانس): $CH_3\text{-}CH_2\text{-}OH \xrightarrow[300°C]{Cu} CH_3\text{-}CHO + H_2$

← تحول الإيثانول إلى إيثن باستعمال الألومين Al_2O_3 كحفاز(حفز غير متجانس): $CH_3\text{-}CH_2\text{-}OH \xrightarrow[300°C]{Al_2O_3} CH_2{=}CH_2 + H_2O$

تمرين موضوعاتي | 40 min

I) حمض البوتيريك أو حمض البوتانويك مركب عضوي يستعمل في العديد من التفاعلات الكيميائية، و يعتبر من نواتج تفاعل أندريد البوتانويك مع كحول.

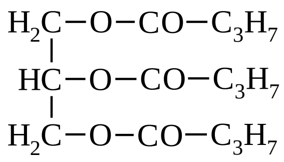
1.1- باستعمال الصيغ نصف المنشورة، اكتب معادلة التفاعل التي تمكن من تركيب حمض البوتيريك انطلاقا من تفاعل أندريد حمض مع الميثانول.

2.1- ما هي المجموعة التي ينتمي إليها الناتج الآخر ؟ أعط اسمه .

3.1- ذكر بخاصيات هذا التفاعل.

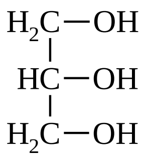
II) البوتيرين جسم دهني يتواجد في الزبدة و هو عبارة عن ثلاثي غليسيريد (إستر) ينتج عن تفاعل الغليسيرول مع حمض البوتيريك.

تمثل الجزيئتين جانبه صيغة كل من البوتيرين و الغليسيرول.



$$\begin{array}{l} H_2C-O-CO-C_3H_7\\ |\\ HC-O-CO-C_3H_7\\ |\\ H_2C-O-CO-C_3H_7 \end{array}$$

البوتيرين



$$\begin{array}{l} H_2C-OH\\ |\\ HC-OH\\ |\\ H_2C-OH \end{array}$$

الغليسيرول

1.2- اكتب معادلة التفاعل بين حمض البوتانويك و الغليسيرول.

2.2- ما اسم هذا التفاعل و ماهي مميزاته ؟

III) نضع في حوجلة كتلة $m_{but}=15\,g$ من البوتيرين (الزبدة) و كمية مادة $n_{KOH}=0,60\,mol$ من هيدروكسيد البوتاسيوم $(K^+_{(aq)}+HO^-_{(aq)})$ و بعض حصى الخفاف، ثم نسخن باستعمال تركيب التسخين بالارتداد. بعد التبريد نصب الخليط في محلول مشبع لكلورور الصوديوم (ماء مالح) .

بعد التجفيف و التنقية نحصل على صابون لين كتلته $m_{sav}=16\,g$.

نعطي: الكتل المولية بالوحدة $g.mol^{-1}$: $M(H)=1,0$ - $M(C)=12$ - $M(O)=16$ - $M(K)=39$.

1.3- اكتب معادلة التفاعل الموافقة لتصنيع الصابون.

2.3- ما اسم هذا التفاعل ؟ اذكر مميزيه .

3.3- ما دور التسخين بالارتداد ؟

4.3- لماذا نصب الخليط في محلول مشبع لكلورور الصوديوم ؟

5.3- تعرف على الجزء الهيدروفيلي و الجزء الهيدروفوبي للصابون الناتج.

6.3- احسب M_{but} الكتلة المولية للبوتيرين و M_{sav} الكتلة المولية للصابون الناتج.

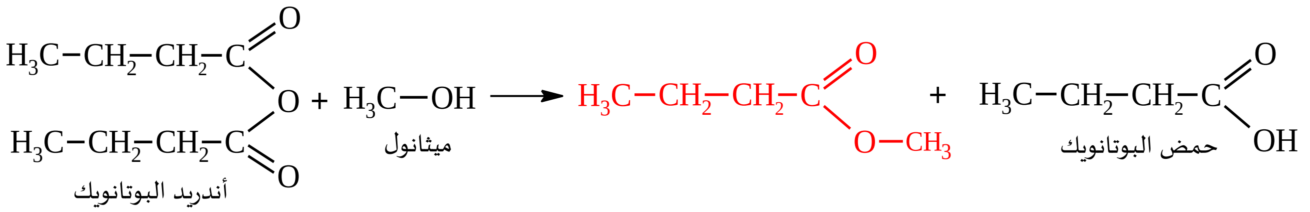
7.3- أنشئ الجدول الوصفي لتقدم التفاعل.

8.3- بين أن تعبير r ، مردود هذا التفاعل، يكتب على شكل: $r=\dfrac{m_{sav}.M_{but}}{3.m_{but}.M_{sav}}$.

9.3- احسب قيمة r . كيف تفسر هذه النتيجة ؟

عناصر الإجابة

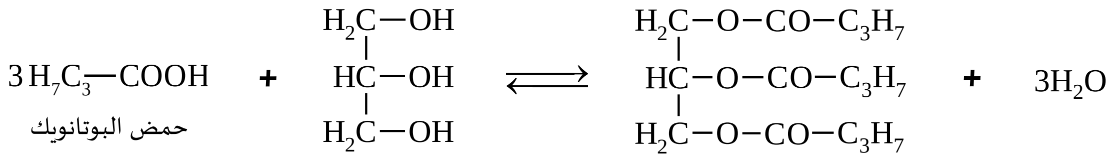
1.1- معادلة التفاعل بين أندريد الحمض و الميثانول. للحصول على حمض البوتانويك نستعمل أندريد البوتانويك:



2.1- ينتمي الناتج الآخر إلى مجموعة الإسترات . اسم الإستر الناتج هو بوتانوات الميثيل.

3.1- هذا التفاعل سريع و كلي.

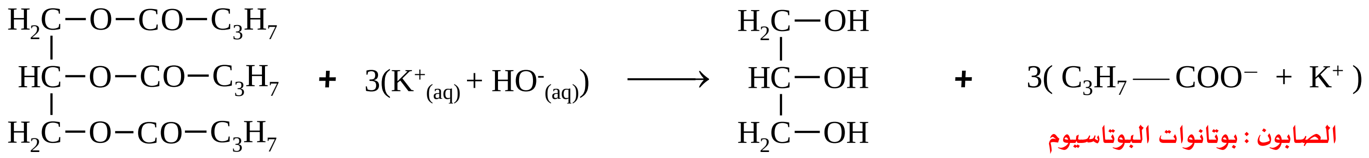
1.2- معادلة التفاعل بين حمض البوتيريك و الغليسيرول:



$$3\,H_7C_3-COOH + \begin{array}{l} H_2C-OH\\ |\\ HC-OH\\ |\\ H_2C-OH \end{array} \rightleftarrows \begin{array}{l} H_2C-O-CO-C_3H_7\\ |\\ HC-O-CO-C_3H_7\\ |\\ H_2C-O-CO-C_3H_7 \end{array} + 3H_2O$$

2.2- هذا التفاعل هو تفاعل أسترة، و هو تفاعل بطيء و محدود

1.3- معادلة التفاعل الموافقة لتصنيع الصابون:



$$\begin{array}{l} H_2C-O-CO-C_3H_7\\ |\\ HC-O-CO-C_3H_7\\ |\\ H_2C-O-CO-C_3H_7 \end{array} + 3(K^+_{(aq)}+HO^-_{(aq)}) \longrightarrow \begin{array}{l} H_2C-OH\\ |\\ HC-OH\\ |\\ H_2C-OH \end{array} + 3(\,C_3H_7-COO^- + K^+\,)$$

الصابون : بوتانوات البوتاسيوم

2.3- اسم التفاعل و مميزاته: هذا التفاعل هو تفاعل **التصبن** أو **الحلمأة القاعدية للإستر** و هو تفاعل **بطيء** و **كلي** :

3.3- الهدف من التسخين بالارتداد هو **تسريع** التفاعل و **الحفاظ** على المركبات الكيميائية من الضياع.

4.3- نصب الخليط في محلول مشبع لكلورور الصوديوم **ليترسب** الصابون (فصله عن الماء)، الصابون لا يذوب في الماء المالح. بعد ذلك يمكن فصله بالترشيح

5.3- تحديد الجزء الهيدروفيلي و الجزء الهيدروفوبي للصابون (بوتانوات البوتاسيوم):

$$\underbrace{C_3H_7}_{\text{الجزء الهيدروفوبي}}-\underbrace{COO^- + K^+}_{\text{الجزء الهيدروفيلي}}$$

6.3- حساب M_{but} الكتلة المولية للبوتيرين و M_{sav} الكتلة المولية للصابون الناتج.

$$M_{but}=15.M(C)+6.M(O)+26.M(H)=(15\times12)+(6\times16)+(26\times1)=302\ g.mol^{-1}$$

$$M_{sav}=4.M(C)+2.M(O)+7.M(H)+M(K)=(4\times12)+(2\times16)+(7\times1)+39=126\ g.mol^{-1}$$

7.3- الجدول الوصفي (للتبسيط نستعمل الصيغ الإجمالية).

معادلة التفاعل	$C_{15}H_{26}O_{6(butirine)}$ + $3KOH_{(potasse)}$	$\longrightarrow$	$C_3H_8O_{3(glisserol)}$ + $3C_4H_7O_2K_{(savon)}$		
حالة المجموعة	كميات المادة بالمول mol				
الحالة البدئية	n_{but}	n_{KOH}	▨	0	0
حالة وسيطة	$n_{but}-x$	$n_{KOH}-3x$	▨	x	$3x$
حالة نهائية (التحول كلي)	$n_{but}-x_{max}$	$n_{KOH}-3x_{max}$	▨	x_{max}	$3x_{max}$

8.3- التوصل إلى تعبير مردود التفاعل: $r=\frac{m_{sav}.M_{but}}{3.m_{but}.M_{sav}}$.

بصفة عامة، تعبير مردود التفاعل هو: $r=\frac{n_{sav,exp}}{n_{sav,th}}$. مع: $n_{sav,exp}$ كمية مادة الصابون المحصل عليها تجريبيا، تعبيرها: $n_{sav,exp}=\frac{m_{sav}}{M_{sav}}$.

و $n_{sav,th}$ كمية مادة الصابون القصوى الممكن الحصول عليها نظريا. من خلال الجدول الوصفي لدينا: $n_{sav,th}=3\,x_{max}$.

تحديد التقدم الأقصى x_{max} :

- إذا كان هيدروكسيد البوتاسيوم هو المتفاعل المحد فإن: $n_{KOH}-3x_{max1}=0$ يعني أن: $x_{max1}=\frac{n_{KOH}}{3}=\frac{0,60}{3}=0,20\ mol$.
- إذا كان البوتيرين هو المتفاعل المحد فإن: $n_{but}-x_{max2}=0$ يعني أن: $x_{max2}=n_{but}=\frac{m_{but}}{M_{but}}=\frac{15}{302}=0,050\ mol$.

التقدم الأقصى يوافق أصغر قيمة، و منه: $x_{max}=\frac{m_{but}}{M_{but}}$

إذن: $n_{sav,th}=3.\frac{m_{but}}{M_{but}}$ وبالتالي تعبير مردود التفاعل r هو: $r=\frac{\frac{m_{sav}}{M_{sav}}}{3.\frac{m_{but}}{M_{but}}}=\frac{m_{sav}.M_{but}}{3.m_{but}.M_{sav}}$.

9.3 - حساب قيمة المردود r : $r=\frac{m_{sav}.M_{but}}{3.m_{but}.M_{sav}}=\frac{16\times302}{3\times15\times126}=0,85=85\%$.

هذا التحول كلي، إذن من المتوقع الحصول على مردود قريب من 100%، غير أن $r<100\ \%$، و هذا راجع إلى ضياع كمية من الصابون خلال عمليات الفصل و التنقية.

- انتهى بحول الله و قوته -

كتاب الدروس

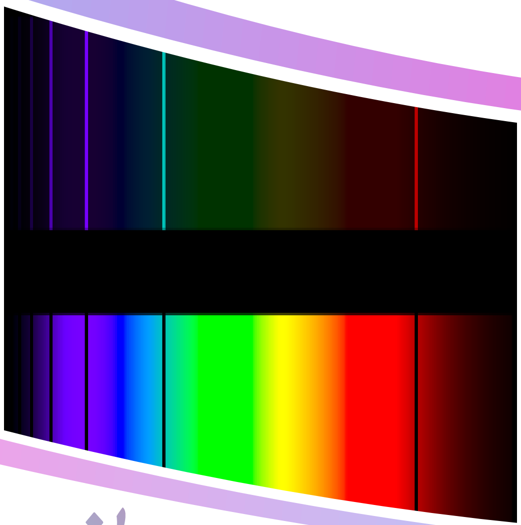
الفيزياء

دروس و أنشطة الفيزياء

للثانية بكالوريا

مسلك العلوم الفيزيائية(+)

الجزء الثاني



الميكانيك

إعداد: ذ. ياسين الدراز
ثانوية الرازي التأهيلية - ترجيست

Facebook : Yassin DERRAZ
Gmail: yassinderaz@gmail.com

PHYSIQUE - 2BAC-SP,SM,SVT

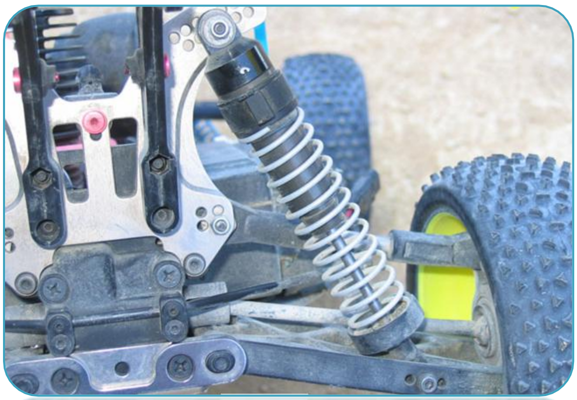
4° MÉCANIQUE

الجزء الرابع

الميكانيك

محتوى الجزء:

- الوحدة 10: قوانين نيوتن.
- الوحدة 11: السقوط الرأسي لجسم صلب.
- الوحدة 12: الحركات المستوية.
- الوحدة 13: الأقمار الاصطناعية و الكواكب.
- الوحدة 14: العلاقة بين التسارع الزاوي و مجموع العزوم.
- الوحدة 15: المجموعات الميكانيكية المتذبذبة.
- الوحدة 16: المظاهر الطاقية.
- الوحدة 17: الذرة و ميكانيك نيوتن.



PHYSIQUE - 2BAC - SP,SM,SVT

Pr. Yassin DERRAZ

ثانوية الرازي التأهيلية
ترجيست – مديرية الحسيمة
مقر الفيزياء و الكيمياء

المستوى : 2 بكالوريا
الموسم الدراسي :
2012 - 2013

مجزوءة الفيزياء
الجزء الرابع : الميكانيك
الدورة الثانية
الغلاف الزمني : 5 h ساعات

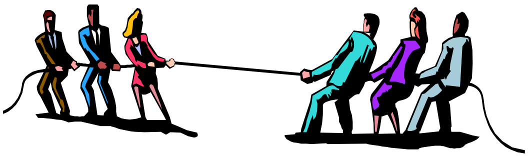
الوحدة
11
الفيزياء

الدرس

SM,SP,SVT

قوانين نيوتن
Les lois de Newton

olical.free



$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m\vec{a}$$

إعداد : ذ. ياسين الدراز

معارف و مهارات – قوانين نيوتن

☑ معرفة تعبيري كل من متجهة السرعة اللحظية ومتجهة التسارع.

☑ معرفة وحدة التسارع.

☑ معرفة إحداثيات متجهة التسارع في معلم ديكارتي وفي أساس فريني.

☑ استغلال الجداء $\vec{v}.\vec{a}$ لتحديد نوع الحركة (متباطئة ــ متسارعة).

☑ معرفة المرجع الغاليلي.

☑ معرفة القانون الثاني لنيوتن $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m.\vec{a_G}$ و $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m.\frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}$ ، ومجال صلاحيته.

☑ تعرف دور الكتلة في قصور مجموعة.

☑ تطبيق القانون الثاني لنيوتن لتحديد المقادير المتجهية الحركية $\vec{V_G}$ و $\vec{a_G}$ واستغلالها.

☑ معرفة واستغلال القانون الثالث لنيوتن.

☑ استعمال معادلة الأبعاد.

I متجهة السرعة :vecteur vitesse

1- معلمة نقطة G من متحرك - متجهة الموضع:

لدراسة حركة جسم أو نقطة G منه نختار معلمين مرتبطين بالجسم المرجعي:

- ♠ **معلم الفضاء:** $R\,(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$
- ♠ **معلم الزمن:** يتكون من لحظة نعتبرها أصلا للتواريخ t=0 و وحدة للزمن الثانية s .

⇦ متجهة الموضع $\overrightarrow{OG}$ هي متجة ينطبق أصلها مع أصل المعلم و طرفها مع موضع المتحرك:

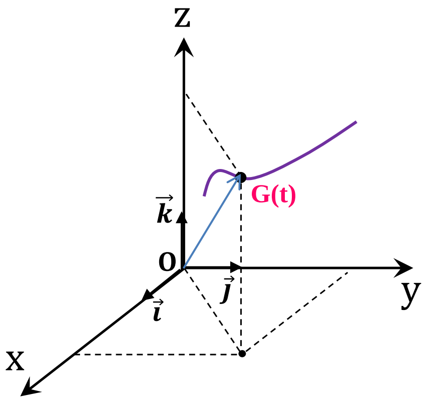
$$\overrightarrow{OG} = x.\vec{i} + y.\vec{j} + z.\vec{k}$$

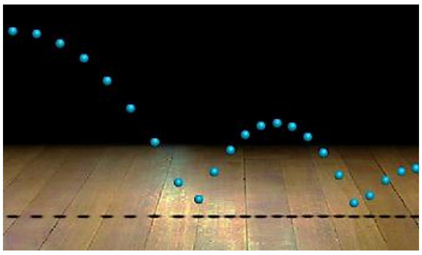
⇦ منظمها (المسافة):

$$OG = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

x و **y** و **z** تمثل إحداثيات موضع **G** في المعلم المتعامد المنظم $R\,(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ ، و $\vec{i}$ و $\vec{j}$ و $\vec{k}$ متجهات و احدية . أي منظمها يساوي **1**، يعني (i=j=k=1) .

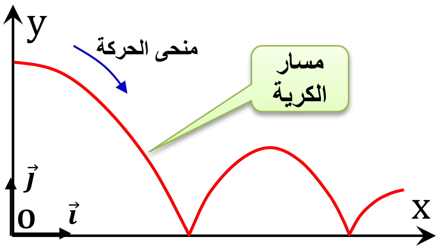
عندما تتحرك النقطة **G** تتغير الإحداثيات **x** و **y** و **z** كلها أو بعضها مشكلة دوال زمنية x(t) و y(t) و z(t).





2- المسار :trajectoire

- مسار نقطة متحركة G في معلم معين هو الخط المستمر المتكون من مجموعة المواضع التي تمر منها هذه النقطة أثناء حركتها .
- يكون المسار موجها عندما نحدد عليه منحى حركة المتحرك . (الشكل جانبه)



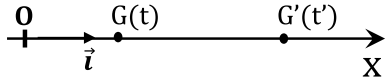
3- متجهة السرعة:

أ- السرعة المتوسطة:

السرعة المتوسطة V_m لمتحرك بين اللحظتين t و t' هي : $V_m = \dfrac{GG'}{\Delta t}$

حيث GG' هي المسافة المقطوعة خلال المدة الزمنية t'-t .

وحدة السرعة في النظام العالمي للوحدات هي المتر على الثانية $m.s^{-1}$.



Δt=t'-t

ب- متجهة السرعة اللحظية:

في مرجع معين، متجهة السرعة اللحظية لمتحرك تساوي المشتقة بالنسبة للزمن لمتجهة الموضع $\overrightarrow{OG}$: $\vec{v} = \dfrac{d\overrightarrow{OG}}{dt}$

مميزاتها هي:

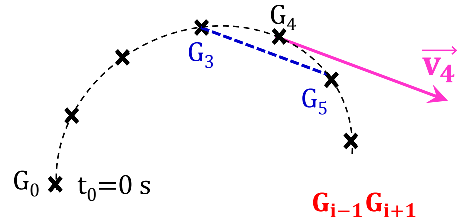
- ❖ **الإتجاه** : مماس للمسار في موضع G عند اللحظة t .
- ❖ **المنحى** : منحى الحركة.
- ❖ **المنظم:** $\|\vec{v}\|$ و يساوي قياس السرعة في اللحظة t و بالوحدة $m.s^{-1}$.

تعبير المتجهة $\vec{v}$ في المعلم $R\,(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ هو: $\vec{v} = v_x.\vec{i} + v_y.\vec{j} + v_z.\vec{k}$

و منظمها : $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}$

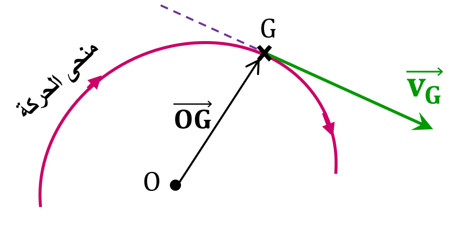
مع : $v_x = \dfrac{dx}{dt} = \dot{x}$ و $v_y = \dfrac{dy}{dt} = \dot{y}$ و $v_z = \dfrac{dz}{dt} = \dot{z}$

تمثيل متجهة السرعة اللحظية



$$v_i = \frac{G_{i-1}G_{i+1}}{2\tau}$$

$$\vec{v_i} = \frac{\overrightarrow{G_{i-1}G_{i+1}}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \Rightarrow \vec{v_4} = \frac{\overrightarrow{G_3G_5}}{t_5 - t_3}$$



متجهة السرعة مماسة للمسار و موجهة في منحى الحركة

II متجهة التسارع :vecteur accélération

1- مفهوم التسارع:

لنعتبر سيارة تتحرك على طريق مستقيمي، فتتغير سرعتها من $V_1=25m.s^{-1}$ إلى $V_2=30m.s^{-1}$ خلال فترة $t_2-t_1=2s$.
نقول عندئذ إن تزايدا قد حصل في السرعة و نسميه **تسارعا** و يكون مقدار هذا التسارع هو: $\frac{v_2-v_1}{t_2-t_1}=\frac{30-25}{2}=2,5m.s^{-2}$
و سواء كان هذا التغير في السرعة بالنسبة للزمن تزايدا (**تسارعا**) أو كان تناقصا (**تباطؤا**) أو حتى في الإتجاه ، نسميه **تسارعا**.

2- التسارع المتوسط :

نعتبر انتقال متحرك من نقطة G_0 عند لحظة t_0 وبسرعة v_0 ، إلى نقطة G لحظة t و بسرعة v .
التسارع المتوسط لهذا المتحرك بين اللحظتين t_0 و t نعبر عنه بالعلاقة : $a_m=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v-v_0}{t-t_0}$

3- متجهة التسارع اللحظي في معلم ديكارتي:

إذا كانت متجهة سرعة المتحرك في لحظة t هي $\vec{v}$ ، و في لحظة t’ هي $\overrightarrow{v'}$، فإن متجهة التسارع $\vec{a}$ في اللحظة t تعرف كما يلي: $\vec{a}=\lim\limits_{t'\to t}\frac{\overrightarrow{v'}-\vec{v}}{t'-t}$

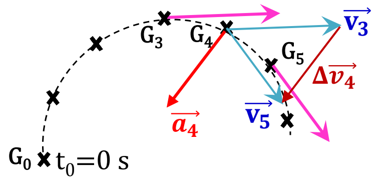
رياضيا تكتب هذه العلاقة على شكل: $\vec{a}=\frac{d\vec{v}}{dt}$ أو $\vec{a}=\frac{d^2\overrightarrow{OG}}{dt^2}$

⇐ متجهة التسارع تمثل المشتقة الأولى بالنسبة للسرعة والمشتقة الثانية بالنسبة للمسافة.

في المعلم $R\,(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ يكتب تبير التسارع على شكل : $\vec{a}=\ddot{x}.\vec{i}+\ddot{y}.\vec{j}+\ddot{z}.\vec{k}$

بحيث : $\frac{d^2x}{dt^2}=\frac{dv_x}{dt}=a_x=\ddot{x}$. و منظم التسارع يكتب، $a=\sqrt{\ddot{x}^2+\ddot{y}^2+\ddot{z}^2}$

تمثيل متجهة التسارع اللحظي



$$\overrightarrow{a_i}=\frac{\Delta\overrightarrow{v_i}}{2\tau}=\frac{\overrightarrow{v_{i+1}}-\overrightarrow{v_{i-1}}}{t_{i+1}-t_{i-1}}$$

$$\overrightarrow{a_4}=\frac{\Delta\overrightarrow{v_4}}{\Delta t}=\frac{\overrightarrow{v_5}-\overrightarrow{v_3}}{t_5-t_3} \Leftarrow$$

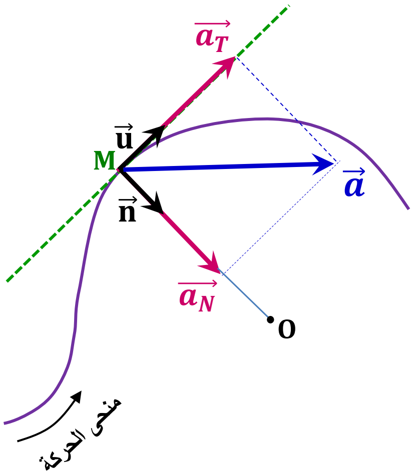
4- متجهة التسارع في أساس فريني Frenet:

أساس فريني هو معلم متعامد ممنظم $M\,(\vec{u},\vec{n})$ ، حيث ينطبق أصله مع الموضع M للمتحرك و متجهته الواحدية $\vec{u}$ مماسة للمسار و موجهة في منحى الحركة ؛ أما متجهته الواحدية $\vec{n}$ فتكون متعامدة مع $\vec{u}$ و موجهة نحو تقعر المسار .

- نعبر عن متجهة التسارع في أساس فريني كمايلي: $\vec{a}=a_T.\vec{u}+a_N.\vec{n}$

بحيث : $a_T=\frac{dv}{dt}$ التسارع المماسي.
$a_N=\frac{v^2}{\rho}$ التسارع المنظمي.
المنظم: $a=\sqrt{a_T^2+a_N^2}$

$\rho=$ OM و يمثل شعاع انحناء المسار. بالنسبة لحركة دائرية يكون $\rho=$ R .



5- الحركة المستوية المتسارعة – المتباطئة – المنتظمة:

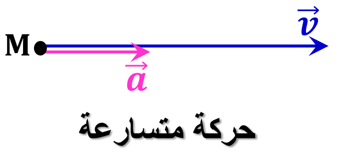
التسارع و التباطؤ وصف يحدد تزايد أو تناقص متجهة السرعة . فهو إذن يبحث في إشارة المقدار $\vec{v}.\vec{a}$.

حيث : $\vec{v}.\vec{a}=\vec{v}.(a_T\vec{u}+a_N\vec{n})=v(a_T\vec{u}+a_N\vec{n})\vec{u}=v.a_T$

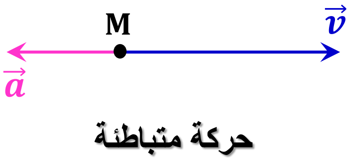
إذا كان $v.a_T>0$ فإن الحركة متسارعة.

إذا كان $v.a_T<0$ فإن الحركة متباطئة.

إذا كان $v.a_T=0$ فإن الحركة منتظمة.



حركة متسارعة



حركة متباطئة

III قوانين نيوتن :Lois de Newton

تذكير :

- المجموعة المعزولة هي المجموعة التي لا تخضع لأي تأثير خارجي.
- المجموعة شبه المعزولة هي المجموعة التي تخضع لعدة قوى مجموع متجهاتها منعدم $\Sigma\vec{F} = \vec{0}$.
- القوة الداخلية هي قوة يؤثر بها جسم ينتمي إلى المجموعة المدروسة.
- القوة الخارجية هي قوة يؤثر بها جسم لا ينتمي إلى المجموعة المدروسة.

1- القانون الأول لنيوتن – مبدأ القصور:

في معلم غاليلي، إذا كان المجموع المتجهي للقوى الخارجية المطبقة على جسم صلب منعدماً ، فإن مركز قصوره G يكون ساكنا ، أو في حركة مستقيمية منتظمة. أي متجهة السرعة $\vec{V_G}$ لمركز قصوره تكون ثابتة و العكس.

$$\Sigma\overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{V_G} = \overrightarrow{cte}$$

المعلم الغاليلي هو كل معلم يتحقق فيه مبدأ القصور.

أمثلة:

- المعلم المرتبط بالأرض أثناء مدة وجيزة. بصفة عامة كل معلم مرتبط بجسم يتحرك وفق حركة مستقيمية منتظمة يعتبر معلما غاليلياً.
- معلم كوبرنيك : أصله مركز الشمس و محاوره الثلاثة موجهة نحو 3 نجوم ثابتة. و يعتبر من أفضل المعالم الغاليلية.
- المعلم المركزي الأرضي: أصله مركز الأرض و محاوره 3 موجهة نحو ثلاثة نجوم ثابتة.

2- القانون الثاني لنيوتن – القانون الأساسي للديناميك:

في معلم غاليلي، يساوي مجموع القوى الخارجية المطبقة على جسم صلب جداء كتلة هذا الجسم m و متجه التسارع $\vec{a_G}$ لمركز قصوره G :

$$\sum\overrightarrow{F_{ext}} = m.\vec{a_G} \quad \text{أو} \quad \sum\overrightarrow{F_{ext}} = m.\frac{d\vec{V}}{dt}$$

ملاحظات :

- يبقى القانون الثاني لنيوتن، $\Sigma\vec{F}_{ext} = m.\vec{a}_G$ صالحاً فقط في حالة السرعات الضعيفة مقارنة مع سرعة الضوء V<< c . لأن الكتلة لا تبقى ثابتة أثناء الحركة، إذ تتغير وفقا لعلاقة أينشتاين. $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ بحيث: m_0 كتلة الجسم في حالة السكون.
- باعتبار العلاقة $\sum\overrightarrow{F_{ext}} = m.\vec{a_G} = m.\frac{\Delta\vec{V}}{\Delta t}$ ، إذا كانت كتلة الجسم كبيرة فإن تغير متجهة السرعة يكون صغيراً. نقول أن الكتلة تقاوم تغير السرعة.

كيفية تطبيق القانون الثاني لنيوتن:

❶ تحديد المجموعة المدروسة .

❷ جرد القوى و تمثيلها على الشكل.

❸ كتابة العلاقة المعبرة عن القانون الثاني لنيوتن بالنسبة للمجموعة المدروسة ، وهي علاقة متجهية.

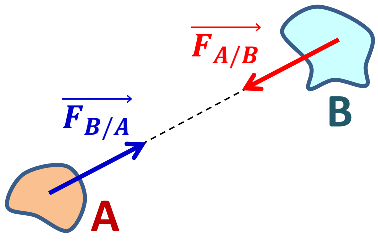
❹ اختيار معلم مناسب.

❺ اسقاط العلاقة المعبرة عن القانون الثاني لنيوتن في هذا المعلم.

❻ الإجابة عن المطلوب.

3- القانون الثالث لنيوتن - مبدأ التأثيرات المتبادلة:

عندما يتم تأثير متبادل بين جسمين A و B فإن القوة $\overrightarrow{F_{A/B}}$ التي يطبقها الجسم A على الجسم B و القوة $\overrightarrow{F_{B/A}}$ التي يطبقها الجسم Bعلى الجسم A تحققان المتساوية : $\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}}$ سواء كان الجسمان في **حركة** أو في **سكون**. وسواء كان التأثير عن تماس أو عن بعد.



IV الحركة المستقيمية المنتظمة و الحركة المستقيمية المتغيرة بانتظام:

الحركة المستقيمية: مسار G عبارة عن مستقيم أو قطعة من مستقيم يوازي المحور [Ox) .

$\overrightarrow{OG} = x.\vec{\imath}$ و $\vec{V} = V.\vec{\imath} = \dot{x}.\vec{\imath}$ و $\vec{a} = a.\vec{\imath} = \dot{v}.\vec{\imath} = \ddot{x}.\vec{\imath}$

- **الحركة المستقيمية المنتظمة:** المسار مستقيمي و السرعة ثابتة . V=cte و منه a=0 .
- **المعادلة الزمنية للحركة:** $x = V.t + x_0$ مع x_0 الأفصول عند t=0 .
- **الحركة المستقيمية المتغيرة بانتظام:** المسار مستقيمي و التسارع ثابت a=cte .
- **المعادلة الزمنية للحركة:** $x = \frac{1}{2}at^2 + V_0t + x_0$
- **معادلة السرعة :** $V = at + V_0$

x_0 و V_0 على التوالي الأفصول و السرعة عند اصل التواريخ t=0.

$\vec{v}.\vec{a} > 0$: الحركة مستقيمية متسارعة بانتظام.

$\vec{v}.\vec{a} < 0$: الحركة مستقيمية متباطئة بانتظام.

تطبيق 1: حركة جسم صلب فوق مستوى أفقي

نعتبر جسما صلبا (S) كتلته m=0,5Kg موضوعا فوق مستوى أفقي حيث التماس بينهما يتم بدون احتكاك. لجر الجسم (S) نطبق عليه قوة أفقية شدتها F=2 N .

1. بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على الجسم (S) أثناء حركته ، أحسب قيمة a_G.
2. استنتج طبيعة حركة مركز قصور الجسم الصلب G .
3. ماذا سيحدث إذا تم حذف القوة $\vec{F}$ ؟
4. نفترض أن الحركة تتم باحتكاك، و أن قوة الإحتكاك مكافئة لقوة شدتها $f=R_T=0,5N$.
   - أ- أوجد التعبير الجديد للتسارع a_G ثم احسب قيمته.
   - ب- نعرف معامل الإحتكاك k بالعلاقة $k = \tan\varphi = \frac{R_T}{R_N}$. أحسب قيمته .

(S)
مستوى أفقي

g=10m/s²

الحل

1- حساب قيمة التسارع a_G لمركز قصور الجسم (S) .

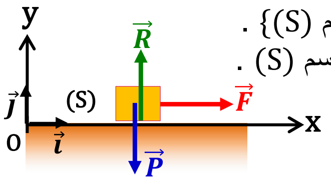
✓ المجموعة المدروسة { الجسم (S)} .

✓ جرد القوى المطبقة على الجسم (S) .

وزن الجسم: $\vec{P}$

قوة الجر: $\vec{F}$

تأثير السطح: $\vec{R}$



✓ في معلم غاليلي نطبق القانون الثاني لنيوتن: $\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = m.\vec{a_G}$

✓ إسقاط العلاقة على المحور [Ox) : $P_x+R_x+F_x=m.a_x$ ①

✓ إسقاط العلاقة على المحور [Oy) : $P_y+R_y+F_y=m.a_y$ ②

② ⇐ -P+R+0=0 و منه R=P=mg=5N

① ⇐ 0+0+F=m.a_x وبما أن الحركة تتم وفق المحور [Ox)

فإن: $a_G=a_x$ و بالتالي: $a_G = \frac{F}{m} = \frac{2}{0,5} = 4\ m.s^{-2}$

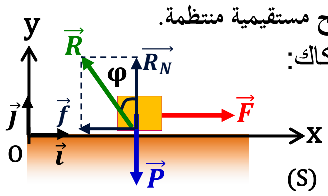
2- بما أن a_G=cte والمسار مستقيمي فإن الحركة مستقيمية متغيرة بانتظام.

3- إذا تم حذف القوة $\vec{F}$ أثناء حركة الجسم (F=0) نجد a_G=0 يعني أن V_G=cte و بالتالي فحركة G تصبح مستقيمية منتظمة.

4- أ- تعبير a_G في حالة الأحتكاك:

نطبق القانون الثاني لنيوتن :

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = m.\vec{a_G}$$



✓ إسقاط العلاقة على المحور [Ox) : $P_x+R_x+F_x=m.a_x$ ①

✓ إسقاط العلاقة على المحور [Oy) : $P_y+R_y+F_y=m.a_y$ ②

② ⇐ $-P+R_N=0$ و منه $R_N=P=mg=5N$.

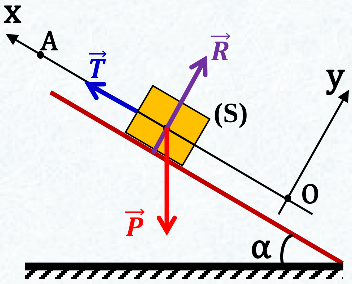
① ⇐ 0-f+F=ma_x و بما أن الحركة تتم وفق المحور [Ox)

فإن: $a_G=a_x$ و بالتالي : $a_G = \frac{F-f}{m} = \frac{2-0.5}{0,5} = 3\ m.s^{-2}$

ب- قيمة معامل الإحتكاك k .

$$k = \tan\varphi = \frac{R_T}{R_N} = \frac{f}{mg} = \frac{0,5}{5} = 0,1$$

تطبيق 2: حركة جسم صلب فوق مستوى مائل



يتكون التركيب الممثل جانبه من جسام صلب (S) كتلته m=200g قابل للإنزلاق على سكة مائلة بزاوية $\alpha=30°$ بالنسبة للمستوى الأفقي.

نطبق بواسطة خيط غير مدود، كتلته مهملة ، قوة ثابتة $\vec{T}$ لجر الجسم (S) وفق الخط الأكبر ميلا بالنسبة للمستوى الأفقي ، فينزلق (S) بدون احتكاك وبدون سرعة بدئية انطلاقا من O في لحظة نعتبرها أصلا للتواريخ t=0.

ينطلق (S) من O نحو A بتسارع ثابت $a=1,2m.s^{-1}$ و يمر من A بالسرعة $V_A=1,7m.s^{-1}$.

1. حدد معللا جوابك ، طبيعة حركة (S) ثم اكتب المعادلة الزمنية لهذه الحركة.
2. أوجد قيمة x_G عند مرور (S) من A .
3. بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على (S) ، أوجد قيمة T توتر الخيط .

الحل

1- حركة الجسم (S) مستقيمية متغيرة بانتظام لأنه يتحرك وفق اتجاه المحور [Ox) بتسارع ثابت .

- المعادلة الزمنية للحركة:

تكتب المعادلة الزمنية لحركة (S) كالتالي:

$$x_G(t)=\frac{1}{2}at^2+V_0t+x_{G_0}$$

حيث : - V_0 هي سرعة الجسم عند اللحظة t=0 و هي منعدمة.

- x_{G_0} أفصول G عند اللحظة t=0 وهو منعدم.

إذن : $x_G(t)=\frac{1}{2}\times 1,2\, t^2$

$$x_G(t)=0,6t^2$$

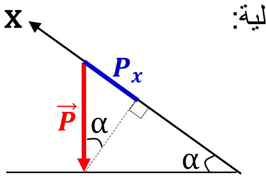
2- نطبق العلاقة المستقلة عن الزمن بين O و A :

$$V_A^2-V_O^2=2a(x_{G_A}-x_{G_0})$$

$$V_A^2-0=2ax_{G_A}$$

$x_{G_A}=\frac{V_A^2}{2a}$ تطبيق عددي $x_{G_A}=\frac{1,7^2}{2\times 1,2}=1,2m$

3- في معلم غاليلي مرتبط بالأرض نطبق القانون الثاني لنيوتن على الجسم (S) الذي يخضع للقوى التالية:



- ✓ وزنه $\vec{P}$.
- ✓ تأثير المستوى المائل $\vec{R}$.
- ✓ توتر الخيط $\vec{T}$.

نكتب : $\vec{P}+\vec{R}+\vec{T}=m.\vec{a_G}$

نسقط متجهات هذه العلاقة على المحور [Ox):

$$P_x+R_x+F_x=m.a_x$$

$-P\sin\alpha+0+T=m.a_x$ مع $a_x=a$ لأن الحركة تتم وفق [Ox)

إذن: $T=ma+mg.\sin\alpha=m(a+g.\alpha\sin)$

تطبيق عددي: $T=0,2\times(1,2+10\times\sin30°)=12,4\ N$

ثانوية الرازي التأهيلية
ترجيست – مديرية الحسيمة
مقر الفيزياء و الكيمياء

المستوى : 2 بكالوريا
الموسم الدراسي :
2012 - 2013

مجزوءة الفيزياء
الجزء الرابع : الميكانيك
الدورة الثانية
الغلاف الزمني : 5 h ساعات

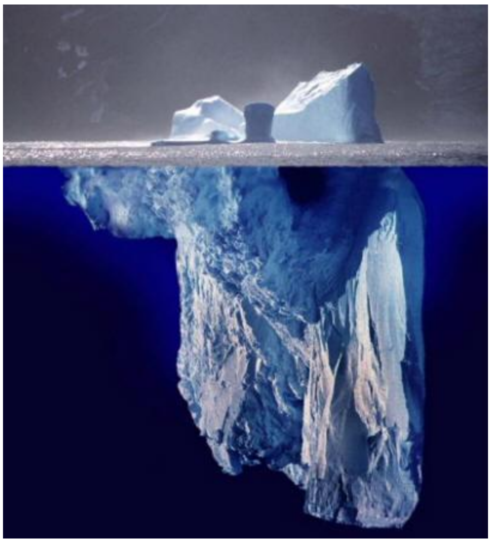
الوحدة 12 الفيزياء

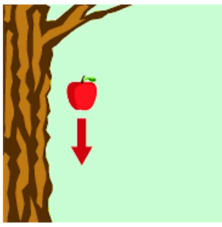
الدرس

تطبيق 1 : السقوط الرأسي لجسم صلب

SM,SP,SVT

Application 1: Chute verticale d'un solide





$$\vec{P} = m\vec{g}$$

$$\overrightarrow{F_A} = -\rho_f.V.\vec{g}$$

$$\frac{dv}{dt} = A - B.v^n$$

إعداد : ذ. ياسين الدراز

معارف و مهارات – السقوط الرأسي لجسم صلب

- ✓ معرفة واستغلال النموذجين التاليين لقوة الاحتكاك في الموائع: $\vec{f} = -\mathrm{k}V^2.\vec{k}$ و $\vec{f} = -\mathrm{k}V.\vec{k}$.
- ✓ استغلال المنحنى لتحديد:
  - ◀ السرعة الحدية ؛
  - ◀ الزمن المميز ؛
  - ◀ النظام البدئي والنظام الدائم.
- ✓ تطبيق القانون الثاني لنيوتن للتوصل إلى المعادلة التفاضلية لحركة مركز قصور جسم صلب في سقوط رأسي باحتكاك.
- ✓ معرفة طريقة أولير(Euler) وتطبيقها لإنجاز حل تقريبي للمعادلة التفاضلية.
- ✓ تعريف السقوط الرأسي الحر.
- ✓ تطبيق القانون الثاني لنيوتن لإثبات المعادلة التفاضلية لحركة مركز قصور جسم صلب في سقوط حر.

I مجال الثقالة :Champ de pesanteur

تعريف:

في كل نقطة M بجوار الأرض، حيث يوجد جسم كتلته m ، يعرف مجال الثقالة بالمقدار: $\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m}$. و مميزاتها هي:

- ❖ الإتجاه: الخط الرأسي المار من مركز الأرض و من النقطة M .
- ❖ المنحى: نحو مركز الأرض.
- ❖ المنظم: شدة مجال الثقالة و يبر عنها بـــ $N.Kg^{-1}$ أو $m.s^{-2}$. و حيث يكون للمتجهة $\vec{g}$ نفس المميزات نقول أن مجال الثقالة منتظم.

ملحوظة:

تتعلق شدة مجال الثقالة بالإرتفاع و بخط العرض لأن: $\vec{g} = \frac{G.M_T}{(R+z)^2}\vec{u}$. $G=6,67.10^{-11}\ m^3.Kg^{-1}.s^{-2}$.

II القوى المطبقة من طرف مائع :Forces exercées par un fluide

1- دافعة أرخميدس :Poussée d’Archimède

كل جسم مغمور كليا أو جزئيا في مائع ، يخضع لقوى تماس ضاغطة تطبق على سطح الجسم . يشكل مجموعها دافعة أرخميدس ، و مميزاتها هي:

- ❖ **المنحى:** موجهة نحو الأعلى.
- ❖ **الإتجاه:** رأسي.
- ❖ **المنظم:** يساوي وزن الكمية المزاحة للمائع . ونعبر عنها بـــ:

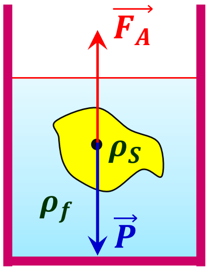
$\vec{F_A} = -\rho_f.V.\vec{g}$ **المنظم :** $F_A = \rho_f.V.g$

ρ_f : *الكتلة الحجمية للمائع* ، *وحدتها* $Kg.m^{-3}$.

V : *الحجم المزاح للمائع* ، *وحدته* m^3 .

g : *شدة مجال الثقالة بـ* $m.s^{-2}$

F : *شدة دافعة أرخميدس بـ* N.



2- قوة الإحتكاك المائع:

كل جسم يتحرك في مائع يخضع لقوة تأثير موزع تسمى قوة الأحتكاك المائع تطبق في مركز قصوره.

أذا كان الجسم في إزاحة فإن مميزاتها هي:

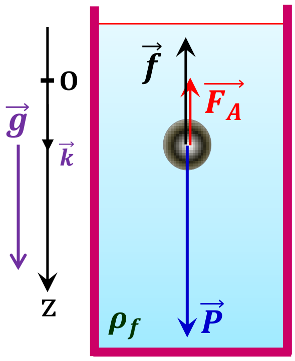
الإتجاه: هو اتجاه متجهة السرعة $\vec{V_G}$.

المنحى: هو عكس منحى $\vec{V_G}$.

المنظم : $f = k.V_G^n$ حيث k ثابتة تتعلق بشكل الجسم و أبعاده و حالة سطحه و كذلك بطبيعة المائع.

عموماً: n=1 : إذا كانت $V_G=V$ صغيرة ، فنكتب f=k.V في هذه الحالة k تتعلق بلزوجة المائع.

n=2 : $V_G=V$ كبيرة ، فنكتب $f=k.V^2$ في هذه الحالة k تتعلق بالكتلة الحجمية للمائع .



III القوى المطبقة من طرف مائع :Forces exercées par un fluide

1- الدراسة التجريبية: EXAO

نترك كرية تسقط بدون سرعة بدئية في خليط من الغليسيرول، ثم نسجل حركتها بواسطة آلة تصوير فيديو ، و بعد ذلك نعالج الفيديو المحصل عليه بواسطة برنامج Regavi (يمكن استعمال AviStep أو Aviméca أو Dynamic).

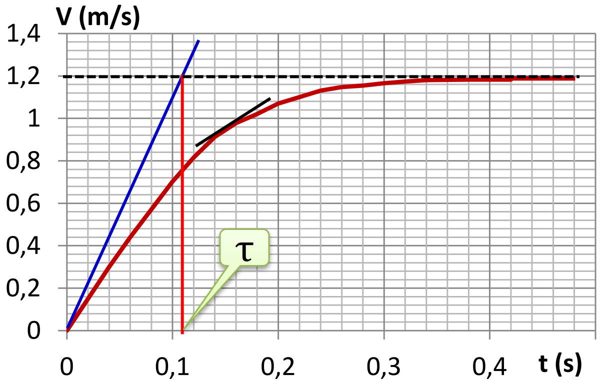
ننجز عملية تحديد النقط الموافقة لمواضع G ، مركز قصور الكرية، مع اختيار محور مدرج نحو الأسفل ، فنحصل على جدول قياسات z=f(t) . ثم نرسل النتائج إلى برنامج مجدول مثل Regressi أو Excel.

بعد تعريف إحداثيات متجهة السرعة $\vec{V_G} = V.\vec{k}$ حيث $V = \frac{dz}{dt}$ يقوم البرنامج بحساب قيم السرعة V ثم رسم المنحنى V=f(t).

نحصل على المنحنى التالي.

استثمار المنحنى:

1. صف تغير السرعة V بدلالة الزمن.
2. استنتج من المنحنى هل الإحداثية a للمتجهة $\vec{a_G} = a\vec{k}$ تتزايد أم تتناقص ؟
3. مثل المقارب للمنحى ثم استنتج السرعة الحدية V_L .
4. نسمي **الزمن المميز** للحركة τ أفصول نقطة تقاطع المماس للمنحنى عند t=0 مع الخط المقارب . عين τ .



الحل

-1 في البداية تتزايد V مع الزمن ثم تؤول إل قيمة حدية ثابتة بحيث يبرز المنحنى نظامين : نظام بدئي t ϵ [0s , 0,34s] و نظام دائم t ϵ [0s , 4,2s] .

-2 ميل المماسات يتناقص ،إذن التسارع a يتناقص.

-3 من خلال المنحنى - المقارب يتقاطع مع محور السرعات في النقطة V_L - نجد $V_L=1,2 m.s^{-1}$.

-4 من خلال المنحنى نجد: τ=0,11 s . تمكن τ من إعطاء رتبة قدر النظام البدئي.(τ توافق كذلك $0,63V_L$).

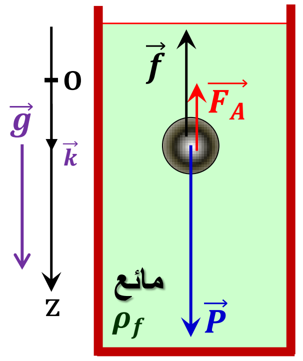
-2 الدراسة النظرية:

في معلم متعامد ممنظم $R\ (O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ مرتبط بالأرض نعتبره غاليليا بحيث $(O,\vec{k})$ رأسي ونحو الأسفل، نطبق القانون الثاني لنيوتن على الكرية أثناء سقوطها، و التي تخضع للقوى التالية:

$\vec{P}$: **وزنها** ⇐ P=mg:

$\vec{f}$: **قوة الإحتكاك المائع** ⇐ $f=k.V^n$:

$\vec{F_A}$: **دافعة أرخميدس** ⇐ $F_A=\rho_f.g.V=m_f.g$:



نكتب : $\boxed{\vec{P} + \vec{f} + \vec{F_A} = m.\vec{a_G}}$ نسقط هذه العلاقة على المحور$(O,\vec{k})$.

نجد: $P_z + f_z + F_{A_z} = ma_{G_z}$

أي: ❶ $mg - m_f g - k.v^n = ma = ma_G$

$a_G = a_{G_z} = \frac{dv}{dt}$ لأن الحركة تتم وفق المحور [Ok] فقط.

إذن العلاقة ❶ تصبح : $\boxed{\frac{dv}{dt} = g\left(\frac{m-m_f}{m}\right) - \frac{k}{m}v^n}$ ❷ و هي **المعادلة التفاضلية لحركة G** . م ق ك .

نضع: $A = g\left(\frac{m-m_f}{m}\right)$ و $B = \frac{k}{m}$ و بالتالي تأخذ العلاقة ❷ الشكل: $\frac{dv}{dt} = A - B.v^n$

- **تحديد السرعة الحدية v_L و التسارع البدئي a_0 انطلاقا من المعادلة التفاضلية:**

عندما يتحقق النظام الدائم تكون سرعة الكرية ثابتة و حدية. إذن في هذه الحالة $v=v_L$ و $\frac{dv}{dt} = 0$.

بما أن : $\frac{dv}{dt} = A - B.v^n$ فإن : $\frac{dv}{dt} = 0 \Leftrightarrow A - B.v_L^n = 0 \Leftrightarrow v_L = \left(\frac{A}{B}\right)^{\frac{1}{n}}$.

بتعويض A و B نجد: $\boxed{v_L = \left(\frac{g}{k}(m-m_f)\right)^{\frac{1}{n}}}$ أو $\boxed{v_L = \left(\frac{g}{k}(\rho-\rho_f).V\right)^{\frac{1}{n}}}$

بحيث : V : حجم الكرية ρ_f : الكتلة الحجمية للسائل ρ: الكتلة الحجمية للكرية.

- **تحديد التسارع a_0 عند اللحظة t=0:**

الطريقة 1 : عند t=0 لدينا v =0 لأن الكرية تنطلق بدون سرعة بدئية ، إذن : $\boxed{a_0 = \frac{dv(0)}{dt} = g\left(\frac{m-m_f}{m}\right)}$

الطريقة 2 : عند t=0 لدينا $\vec{f} = \vec{0}$ (الكرية في سكون) إذن : $k.V^n=0$ و منه : $\boxed{a_0 = g\left(\frac{m-m_f}{m}\right)}$

السقوط الرأسي الحر: نشاط وثائقي

كان غاليلي، منذ طفولته المبكرة، شديد الاعتماد على نفسه، لا يخضع لرأي لا يقبله عقله، ولا يسلم بأمر دون تمحيص.

وحين دخل جامعة بيزا راح يطالع بكثير من الشغف مؤلفات أقليديس و أرخميدس، و يشغل أوقات الفراغ لديه – رغم قلتها – بإجراء التجارب العلمية بنفسه و بأدوات من صنعه. و ما لبث أن راح يجادل أساتذته في نظريات أرسطو و في تعاليمه بناءا على ما توصل إليه من نتائج أبحاثه حتى ضاق أساتذته به ذرعا و عدوه هرطقيا يحاول أن يعبث «بمقدسات العلم». و لما رأوا أن غاليلي قد تمادى في آرائه، أرادوا أن يتحدوه علنا في إثبات مدعاه و بتخطئته لرأي أرسطو القائل « يبلغ الأرض أولا أثقل جسمين يسقطان معا من علو واحد» .

وكان غاليلي قد سفه هذا الرأي، و أعلن بطلانه و فساده و قال بوصول الجسمين معا إلى الأرض إذا تعادلت مقاومة الهواء لهما.

و طلب الأساتذة من غاليلي أن يقيم الدليل على بطلان رأي أرسطو أمامهم و أمام طلاب الجامعة و من يشاء من أهالي المدينة، و يقوم بذلك من على برج «بيزا» المائل، فقبل التحدي و على ثغره بسمة الرضى و على ثغورهم بسمات الهزء و قالوا: « لا يصدق إلا المجنون أن ريشة طائر و قذيفة مدفع تصلان إلى الأرض معا إذا سقطتا من الأعالي في وقت واحد».

و في الموعد المضروب، راح غاليلي يصعد درجات البرج المائل بين هزء الهازئين و شماتة الشامتين و في يده قذيفتان تزن إحداهما عشرة أضعاف الأخرى.

وحان الوقت، و دقت الساعة الحاسمة، و أفلت غاليلي القذيفتين معا من يديه، وعلا الضحك من جديد ثم ساد الصمت الرهيب. فقد وصلت القذيفتان إلى الأرض معا، و هكذا برهن غاليلي عمليا على خطأ رأي أرسطو و صواب رأيه هو، ولكن و رغم ذلك لم يصدقه أحد ...

عن «عباقرة العلم» لجورج سلستي بتصرف

IV حل المعادلة التفاضلية للحركة بتطبيق طريقة أولير Euler:

تعطي طريقة أولير حلا تقريبيا للمعادلة التفاضلية ، فهي طريقة رقمية تكرارية حيث تعوض المشتقات $\frac{dV}{dt}$ بمعدل التغير الموافق $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ مع : $\Delta V=V_{i+1}-V_i$ و $\Delta t=t_{i+1}-t_i$. ونختار Δt التي تسمى خطوة الحساب صغيرة إذا تعلق الأمر بدقة أكبر.

لدينا : $\frac{dV}{dt}=g\left(\frac{m-m_f}{m}\right)-\frac{k}{m}V^n$ و التي يمكن كتابتها على شكل: $\frac{dV}{dt}=A-BV^n$ أو $a=A-BV^n$ ❶

بمعرفة A و B و الشروط البدئية $(V(t=0)=V_0)$ يمكننا حساب $a_0=A-B.V_0^n$ و بالتالي نحدد مختلف قيم V خلال الزمن.

لدينا: $\Delta t=t_{i+1}-t_i$ إذن : $t_1=t_0+\Delta t$ $\Leftarrow$ $V_1=V_0+\Delta V_0$ أي $V_1=V_0+a_0\Delta t$ لأن : $a_0=\frac{\Delta V_0}{\Delta t}$. ثم من ❶ ؛

نحسب $a_1=A-B.V_1^n$ $\Leftarrow$ $V_2=V_1+a_1\Delta t$ ، بنفس الطريقة نحسب $a_2=A-B.V_2^n$ $\Leftarrow$ $V_3=V_2+a_2\Delta t$ إلخ.

بصفة عامة: $a_i=A-B.V_i^n$ و $V_{i+1}=V_i+a_i.\Delta t$. **(CQFR)**

بإعادة هذا الحساب نحصل على قيم السرعات عند لحظات مختلفة تمكننا من تمثيل السرعة V بدلالة الزمن t. ثم نقارن المنحنى المحصل عليه مع المنحنى التجريبي ، و في حالة تطابق المنحنى النظري لطريقة أولير مع المنحنى التجريبي يكون النموذج المعتمد في تعبير قوة الإحتكاك المائع حيث n=1 أو n=2 .

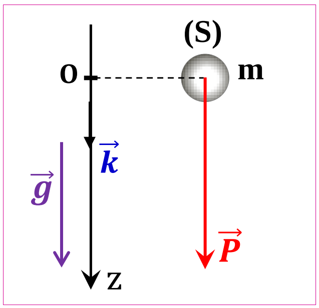
اختيار خطوة الحساب له أهمية بالغة ، فكلما كانت Δt صغيرة كلما اقتربت القيم النظرية من القيم التجريبية . و لتسهيل الحساب نستعمل مجدولا مثل regressi أو Excel و نأخذ عادة $\Delta t=\frac{\tau}{10}$.

تمرين تطبيقي ص 210 من الكتاب المدرسي (المسار)

I السقوط الرأسي الحر :Chute libre verticale

السقوط الحر لجسم صلب هو حركة مركز قصور هذا الجسم في مرجع أرضي، عندما يخضع هذا الجسم لقوة الثقالة فقط.

1- متجهة تسارع مركز قصور الجسم G:



في مرجع أرضي ، نعتبره غاليليا نطبق القانون الثاني لنيوتن على الجسم (S) خلال سقوطه الحر . فنكتب : $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{P} = m.\overrightarrow{a_G}$

و بما أن : $\vec{P} = m.\vec{g}$ فإن : $\boxed{\overrightarrow{a_G} = \vec{g}}$

خلاصة: خلال حركة السقوط الحر لجسم صلب، تكون متجهة التسارع $\overrightarrow{a_G}$ لمركز القصور مساوية لمتجهة مجال الثقالة $\vec{g}$ ، و لا تتعلق $\overrightarrow{a_G}$ بالكتلة m للجسم الصلب.

2- المعادلات الزمنية:

في معلم متعامد ممنظم $R\,(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ مرتبط بمرجع أرضي نسقط العلاقة $\vec{P} = m.\overrightarrow{a_G}$ على المحور الرأسي $(O,\vec{k})$:

نجد : $mg = ma_{Gz} = ma_G$ أي : $a_G = g$ و منه : $\frac{dV_z}{dt} = g$ و هي المعادلة التفاضلية للحركة.

بما أن الحركة تتم وفق المحور (Oz] فقط، فإن : $(a_y=a_x=0)$ و بالتالي: $V_z = gt + V_0$ ، بحيث V_0 السرعة عند t=0.

- نفترض أن الجسم أطلق بدون سرعة بدئية ، يعني أن $V_0=0$. إذن: $V_z = gt$.

و بما أن : $V_z = \frac{dz}{dt} = gt$ فإن : $z(t) = \frac{1}{2}gt^2 + z_0$ ، بحيث z_0 الأنسوب عند t=0 .

- في اللحظة t=0 اخترنا G مطابقا لأصل المعلم ، إذن $z_0=0$ و بالتالي: $z(t) = \frac{1}{2}gt^2$

بصفة عامة تكتب المعادلات الزمنية لحركة السقوط الحر بالنسبة لمعلم متعامد ممنظم محوره $(O,\vec{k})$ موجه نحو الأسفل كما يلي:

$$a = g$$
$$V(t) = gt + V_0$$
$$z(t) = \frac{1}{2}gt^2 + V_0t + z_0$$

PC12

تمرين موضوعاتي

تمكن دراسة سقوط جسم صلب متجانس في سائل لزج من تحديد بعض المقادير الحركية و لزوجة السائل المستعمل.

نملأ أنبوبا مدرجاً بسائل لزج وشفاف كتلته الحجمية ρ ثم نسقط فيه كرية متجانسة كتلتها m و مركز قصورها G بدون سرعة بدئية عندة اللحظة t=0 .ندرس حركة G بالنسبة لمعلم أرضي نعتبره غاليليا.

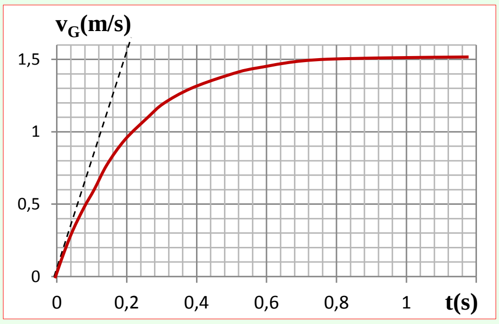
نمعلم حركة G عند لحظة t بالأنسوب z على محور $\overrightarrow{Oz}$ رأسي و موجه نحو الأسفل.

نعتبر أن موضع G منطبق مع أصل المحور $\overrightarrow{Oz}$ عند أصل التواريخ و أن دافعة أرخميدس $\vec{F}$ غير مهملة بالنسبة لباقي القوى.

ننمذج تأثير السائل على الكرية أثناء حركتها بقوة احتكاك $\vec{f} = -k\overrightarrow{v_G}$ ، حيث $\overrightarrow{v_G}$ متجهة سرعة G عند لحظة t و k معامل ثابت.

معطيات : شعاع الكرية: $r = 6{,}00.10^{-3}$ m ؛

كتلة الكرية : $m = 4{,}10.10^{-3}$ Kg ؛



t (s)	V (m.s⁻¹)	a (m.s⁻²)
0	0	7,57
0,33	0,25	a_1
0,66	V_2	5,27

-1 بتطبيق القانون الثاني لنوتن، بين أن المعادلة التفاضلية لحركة G تكتب على الشكل $\frac{dV_G}{dt} + A.V_G = B$ محددا تعبير A بدلالة k و m و تعبير B بدلالة شدة الثقالة g و m و ρ و V حجم الكرية.

-2 تحقق أن التعبير $V_G(t) = \frac{B}{A}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ حل للمعادلة التفاضلية، حيث. $\tau = \frac{1}{A}$ الزمن المميز للحركة.

-3 أكتب تعبير السرعة الحدية V_{lim} لمركز قصور الكرية بدلالة A و B .

-4 نحصل بواسطة عدة معلوماتية ملائمة على المنحنى جانبه ، حدد V_{lim} و τ .

-5 أوجد قيمة المعامل k .

-6 يتغير المعامل k مع شعاع الكرية و معامل اللزوجة η للسائل وفق العلاقة $k = 6\pi\eta r$. حدد قيمة η للسائل المستعمل في هذه التجربة.

-7 تكتب المعادلة التفاضلية لحركة G كالتالي: $\frac{dV_G}{dt} = 7.57 - 5V_G$ ؛ باعتماد طريقة أولير و معطيات الجدول أوجد قيمتي a_1 و V_2 .

الوحدة 13 الفيزياء

ثانوية الرازي التأهيلية
ترجيست – نيابة الحسيمة
مقر الفيزياء و الكيمياء

المستوى : 2 بكالوريا
الموسم الدراسي :
2012 - 2013

مجزوءة الفيزياء
الجزء الرابع : الميكانيك
الدورة الثانية
الغلاف الزمني : 6 h ساعات

الدرس

تطبيق 2 : الحركات المستوية

Application 2 : Mouvements plans

SM,SP,SVT

$$\vec{a_G} = \vec{g}$$

$$\vec{F} = q\vec{V} \wedge \vec{B}$$

$$r = \frac{m.V_0}{|q|.B}$$

إعداد : ذ. ياسين الدراز

معارف و مهارات « الحركات المستوية »

- تطبيق القانون الثاني لنيوتن على قذيفة :
  - لإثبات المعادلات التفاضلية للحركة ؛
  - لاستنتاج المعادلات الزمنية للحركة واستغلالها ؛
  - لإيجاد معادلة المسار، وقمة المسار والمدى.

- معرفة مميزات قوة لورنتز (Lorentz) وقاعدة تحديد منحاها.
- تطبيق القانون الثاني لنيوتن على دقيقة مشحونة في مجال مغنطيسي منتظم في حالة $\vec{V_0}$ عمودية على $\vec{B}$:
  - لتحديد طبيعة الحركة؛
  - لحساب الانحراف المغنطيسي.

I حركة قذيفة في مجال الثقالة المنتظم :

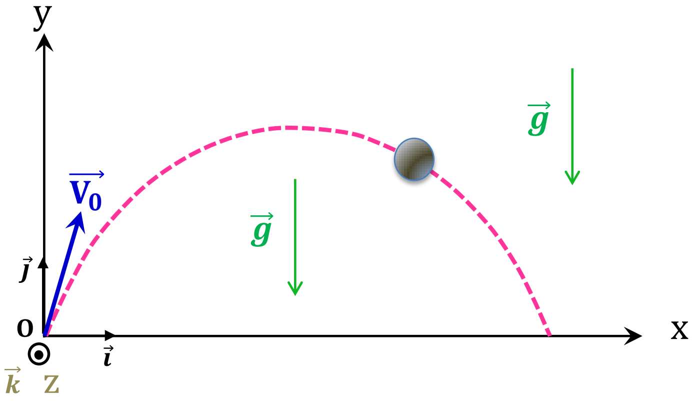
القذيفة هي كل جسم يقذف بسرعة بدئية V_0 بجوار الأرض .

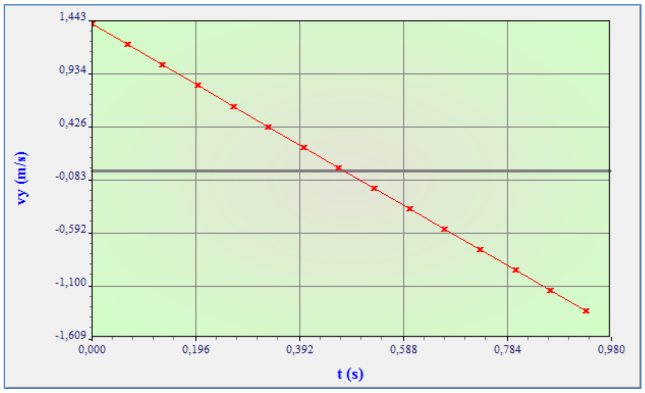
أ – الدراسة التجريبية : EXAO

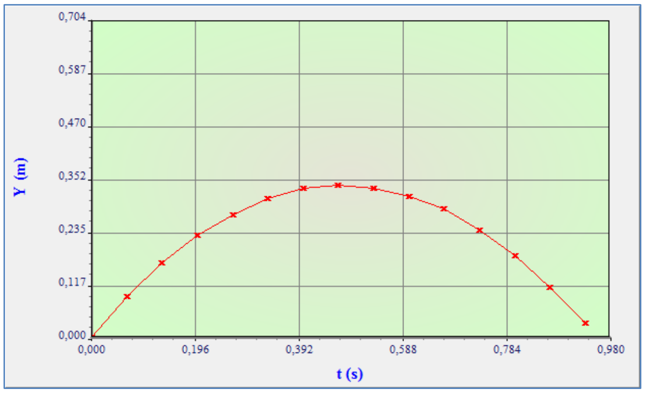
نرسل كرية بسرعة بدئية تصنع زاوية α مع المحور الأفقي (Ox] ، ثم نسجل حركتها بواسطة آلة تصوير فيديو ، و بعد ذلك نعالج الفيديو المحصل عليه بواسطة برنام Regavi أو AviStep .

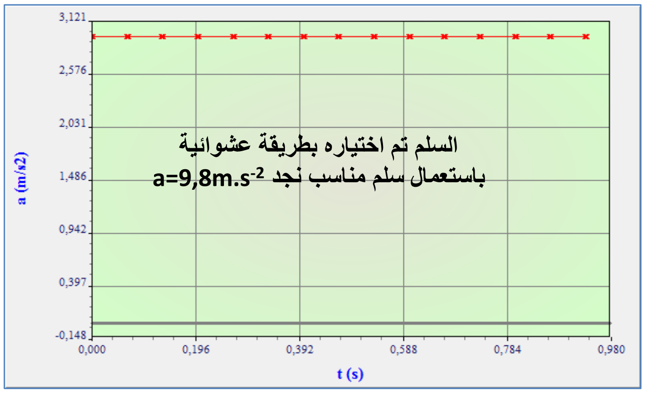
ننجز عملية تحديد النقط الموافقة لمواضع G ، مركز قصور الكرية، مع اختيار محور (ox] أفقي و محور (Oy] موجه نحو الأعلى مدرج نحو الأسفل ، فنحصل على جدول قياسات $x=f(t)$ ؛ $y=f(t)$ ؛ $y=f(x)$. ثم نرسل النتائج إلى برنم مجدول Regressi .

بعد تعريف إحداثيات متجهة السرعة و التسارع يقوم البرنام بحساب قيم السرعة V و التسارع a ثم رسم المنحنى $x=f(t)$ و $y=f(t)$ و $y=f(x)$ و $v=f(t)$ و $a=f(t)$. __نحصل على المنحنيات الممثلة أسفله__.



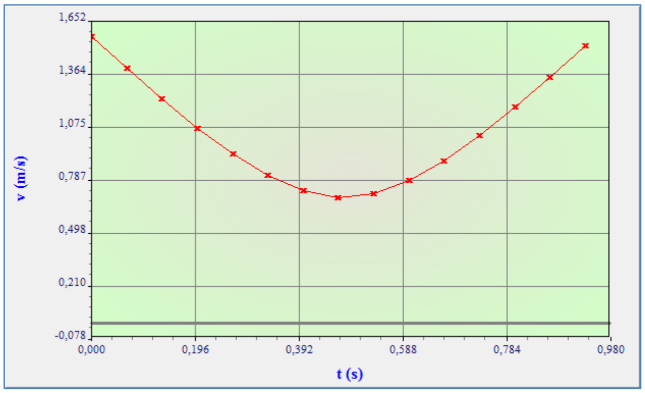






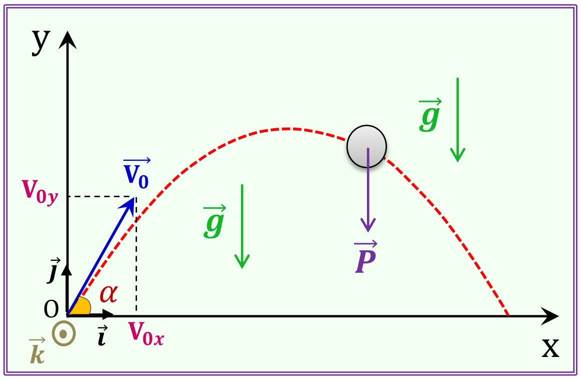
السلم تم اختياره بطريقة عشوائية

باستعمال سلم مناسب نجد $a=9,8m.s^{-2}$



ب – الدراسة النظرية :

1- متجهة التسارع:



نرسل كرية كتلتها m بسرعة بدئية $\vec{V_0}$ تنتمي إلى المستوى (Ox,Oy) و تكون زاوية α مع المحور الأفقي [Ox) .

ندرس حركة G مقك في معلم متعامد ممنظم $R\,(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ مرتبط بمرجع أرضي نعتبره غاليليا. بحيث يكون أصله O منطبقا مع G عند t=0 .

بتطبيق القانون الثاني لنيوتن نكتب: $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{P} = m.\vec{a_G}$

و بما أن : $\vec{P} = m.\vec{g}$ فإن : $\boxed{\vec{a_G} = \vec{g}}$

نسقط هذه العلاقة على المحاور الثلاثة للمعلم $R\,(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$:

على المحور [Ox) : $a_x = 0$

على المحور [Oy) : $a_y = -g$

على المحور [Oz) : $a_z = 0$

$$\vec{a_G}\left|\begin{array}{l} a_x = 0 \\ a_y = -g \\ a_z = 0 \end{array}\right.$$

إذن متجهة التسارع $\vec{a_G}$ رأسية و منحاها نحوالأسفل و منظمها يساوي عدديا g أي : a=9,81 m.s^{-2} ؛ عندما نأخذ g=9,81m.s^{-2}

2- متجهة السرعة:

لدينا:
$$\begin{cases} a_x = \dfrac{dV_x}{dt} = 0 \\ a_y = \dfrac{dV_y}{dt} = -g \\ a_z = \dfrac{dV_z}{dt} = 0 \end{cases}$$

باستعمال التكامل نحصل على:

$$\begin{cases} V_x = C_1 \\ V_y = -gt + C_2 \\ V_z = C_3 \end{cases}$$

تحدد الثوابت C_1 و C_2 و C_3 باستعمال الشروط البدئية .

عند اللحظة t=0 لدينا: $\vec{V_0}\left|\begin{array}{l} V_{0x} = V_0.\cos\alpha \\ V_{0y} = V_0.\sin\alpha \\ V_{0z} = 0 \end{array}\right.$ ومنه: $\left|\begin{array}{l} C_1 = V_0.\cos\alpha \\ C_2 = V_0.\sin\alpha \\ C_3 = 0 \end{array}\right.$ و بالتالي:

$$\vec{V_G}\left|\begin{array}{l} V_x = V_0.\cos\alpha \\ V_y = -gt + V_0.\sin\alpha \\ V_z = 0 \end{array}\right.$$

3- المعادلات الزمنية:

لدينا:
$$\begin{cases} V_x = \dfrac{dx}{dt} = V_0\cos\alpha \\ V_y = \dfrac{dy}{dt} = -gt + V_0\sin\alpha \\ V_z = \dfrac{dz}{dt} = 0 \end{cases}$$

باستعمال التكامل نجد:

$$\begin{cases} x = (V_0\cos\alpha).t + A \\ y = -\dfrac{1}{2}gt^2 + (V_0\sin\alpha).t + B \\ z = C \end{cases}$$

يتم تحديد الثوابت A و B و C باستعمال الشروط البدئية .

عند اللحظة t=0 يوجد G مركز قصور الكرية في النقطة O و بالتالي: $x_0=0$ و $y_0=0$ و $z_0=0$.

و منه : A=0 و B=0 و C=0 .

و بالتالي:
$$\vec{OG}\left|\begin{array}{l} x = (V_0\cos\alpha).t \\ y = -\dfrac{1}{2}gt^2 + (V_0\sin\alpha).t \\ z = 0 \end{array}\right.$$

ملاحظات هامة:

- Z=0 ، يعني أن حركة G تتم في المستوى (Oxy) ، و بالتالي فإن الحركة مستوية.
- على المحور [Ox) ، الحركة مستقيمية منتظمة .
- على المحور [Oy) ، الحركة مستقيمية متغيرة بانتظام.
- السقوط الحر لا يتعلق بكتلة الجسم.

4- معادلة المسار:

بما أن الحركة تتم في المستوى (Oxy) ، فإن معادلة المسار هي كتابة تعبير y بدلالة x ؛ أي y=f(x) . و من أجل ذلك سنقصي الزمن t من المعادلة الزمنية y=f(t) .

لدينا: $x = (V_0 cos\alpha).t$ إذن : $t = \frac{x}{V_0 cos\alpha}$

نعوض t في المعادلة : $y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + (V_0 sin\alpha).t$ فنحصل على معادلة المسار.

نجد:

$$y(x) = -\frac{1}{2}g\left(\frac{x}{V_0 cos\alpha}\right)^2 + (V_0 sin\alpha).\left(\frac{x}{V_0 cos\alpha}\right)$$

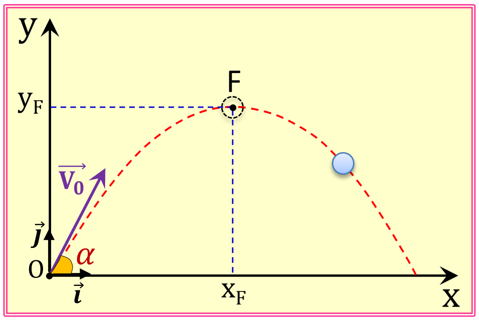
أي:

$$y(x) = -\frac{g}{2{V_0}^2\cos^2\alpha}.x^2 + tan\alpha.x$$

♠ معادلة المسار عبارة عن جزء من شلجم يوجد في المستوى الرأسي الذي يحتوي على متجهة السرعة البدئية $\vec{V_0}$.

5- بعض ميزات المسار:

أ- قمة المسار : la Flèche و هي أعلى نقطة يصلها مركز قصور الكرية.



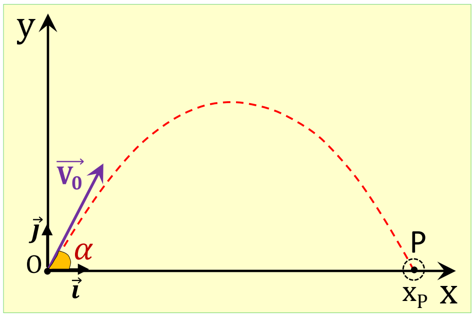
عند قمة المسار يكون لدينا : $V_y = 0$ عند اللحظة t_F أو $\frac{dy}{dx} = 0$.

$$V_y = 0 \iff -gt_F + V_0.sin\alpha = 0 \iff t_F = \frac{V_0.sin\alpha}{g}$$

$$x_F = (V_0 cos\alpha).t_F = (V_0 cos\alpha).\frac{V_0.sin\alpha}{g} \Rightarrow x_F = \frac{V_0^2.sin2\alpha}{2g}$$

$$y_F = -\frac{1}{2}g\left(\frac{V_0.sin\alpha}{g}\right)^2 + (V_0 sin\alpha).\left(\frac{V_0.sin\alpha}{g}\right) \Rightarrow y_F = \frac{V_0^2.sin\alpha^2}{2g}$$

ب- المدى : la Portée و هي المسافة بين نقطة انطلاق القذيفة O و نقطة سقوطها P عل هذا المحور الذي يشمل O .



لدينا $y_P=0$ إذن : $-\frac{g}{2{V_0}^2\cos^2\alpha}.x_P^2 + tan\alpha.x_P = 0$

أي: $x_P.\left[-\frac{g}{2{V_0}^2\cos^2\alpha}.x_P + tan\alpha\right] = 0$

المعادلة تقبل حلين : $x_p=x_0=0$ و هي نقطة انطلاق القذيفة .

و : $x_P = \frac{V_0^2 sin(2\alpha)}{g}$. **CQFD**

ملاحظة : ♠ يكون المدى قصويا في حالة $sin2\alpha=1$ أي $\alpha=45°$.

♠ يكون للمدى نفس القيمة بالنسبة لزاويتين متكاملتين α_1 و α_2 بحيث $\alpha_1+\alpha_2=90°$.

بصفة عامة تكتب المعادلات الزمنية على شكل :

$$\vec{OG}\begin{cases} x = (V_0 cos\alpha).t + x_0 \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + (V_0 sin\alpha).t + y_0 \\ z = 0 \end{cases}$$

بحيث x_0 و y_0 يمثلان الأفصول و الأرتوب عند اللحظة t=0 .

وبالتالي يصبح تعبير كل من المدى و قمة المسار كمايلي:

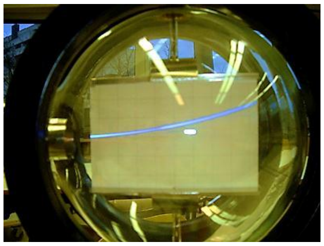
قمة المسار: $y_F = \frac{V_0^2.sin\alpha^2}{2g} + y_0$

المدى: $x_P = \frac{V_0^2 sin(2\alpha)}{g} + x_0$

II حركة دقيقة مشحونة في مجال مغنطيسي منتظم: خاص بـ SM+SP

نسمي دقيقة مشحونة إلكترون e^- أو بروتون أو أيون .

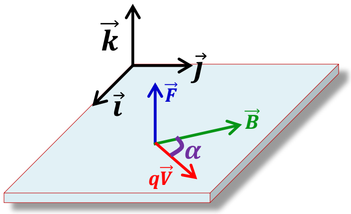
1- تأثير مجال مغنطيسي على حزمة إلكترونات:



عند تقريب مغنطيس من حزمة إلكترونات فإنها تنحرف ، و يتغير منحى الإنحراف بعكس قطبي المغنطيس .

المجال المغنطيسي الذي يحدثه المغنطيس يطبق تأثيرا ميكانيكيا على حزمة الإلكترونات مما يجعلها تنحرف، و يسمى هذا التأثير **بقوة لورنتز** . (الشكل جانبه).

2- القوة المغنطيسية:



كل دقيقة مشحونة ، ذات شحنة q تتحرك بسرعة متجهتها $\vec{V}$ داخل مجال مغنطيسي متجهته $\vec{B}$ ، تخضع إلى قوة مغنطيسية $\vec{F}$ تسمى قوة لورنتز Lorentz نعبر عنها بالعلاقة:

$$\boxed{\vec{F} = q\vec{V}\wedge\vec{B}}$$

تسمى هذه العلاقة **بعلاقة لورنتز**.

مميزات قوة لورنتز هي:

نقطة التأثير : هي الدقيقة نفسها باعتبارها نقطية.

خط التأثير: العمودي على المستوى ($q\vec{V},\vec{B}$) .

المنحى: يجب أن يكون ثلاثي الأوجه ($q\vec{V},\vec{B},\vec{F}$) مباشرا.

الشدة: نعبر عنها بالعلاقة $F = |q.V.B.\sin\alpha|$

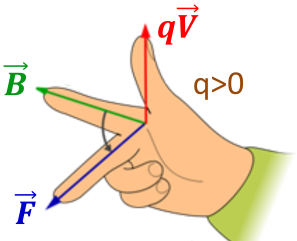
q : شحنة الدقيقة بالكولوم C .

V : سرعة الدقيقة بـ $m.s^{-1}$.

B : شدة المجال المغنطيسي بـ T

α : الزاوية التي تكونها $\vec{V}$ مع $\vec{B}$

F : شدة قوة لورنتز بـ N .



قاعدة اليد اليمنى

3- الطاقة الحركية لدقيقة مشحونة في مجال مغنطيسي منتظم:

أ- قدرة قوة لورنتز:

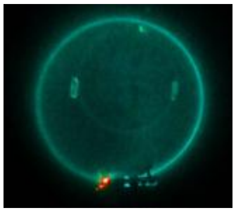
لدينا : $\mathcal{P}= \vec{F}.\vec{V}$ و بما أن $\vec{F}\perp\vec{V}$ فإن : $\mathcal{P}= 0$ $\Leftarrow$ إذن لقوة لورنتز قدرة منعدمة.

ب- الطاقة الحركية:

نعلم أن : $\mathcal{P} = \dfrac{dE_c}{dt}$ و بما أن : $\mathcal{P}= 0$ فإن : $\dfrac{dE_c}{dt} = 0$ يعني أن : $E_c = cte$ $\Leftarrow$ انحفاظ الطاقة الحركية.

من جهة أخرى لدينا : $E_c = \dfrac{1}{2}mV^2 = cte$ إذن : V=cte و بالتالي **فحركة الدقيقة منتظمة** $V=V_0$.

4- دراسة حركة دقيقة مشحونة في مجال مغنطيسي منتظم:

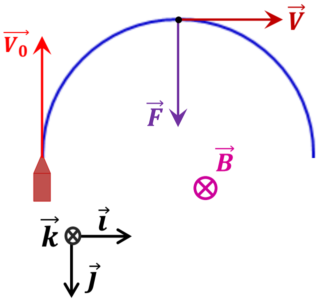


الدراسة التجريبية: محاكاة (animation flash)

تبين الدراسة التجريبية أنه عندما تدخل حزمة إلكترونات مجالا مغنطيسيا $\vec{B}$ و بسرعة $\vec{V_0}$ عمودية على $\vec{B}$ ، فإنها تنحرف وفق مسار مستو و دائري يتعلق شعاعه بـ B و V_0 .

الدراسة النظرية:

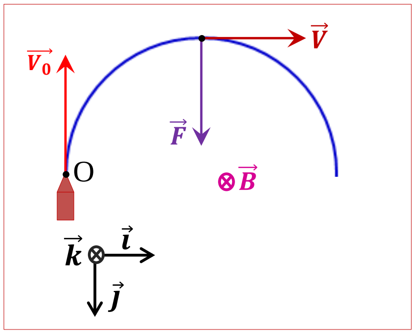
نعتبر دقيقة شحنتها q<0 في حركة داخل مجال مغنطيسي منتظم ، حيث متجهة سرعتها البدئية $\vec{V_0}$ عمودية على متجهة المجال المغنطيسي $\vec{B}$.



أ- تعبير التسارع:

بما أن كتلة الدقيقة صغيرة جداً فإن، وزنها مهمل أمام قوة لورنتز P<<F .

- المجموعة المدروسة : {الدقيقة ذات الكتلة m } .



- في معلم متعامدد ممنظم $R\ (O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ مرتبط بمرجع أرضي نعتبره غاليليا ، نطبق القانون الثاني لنيوتن على الدقيقة أثناء حركتها. نكتب :

$$\boxed{\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{F} = m.\overrightarrow{a_G} = q\vec{V}\wedge\vec{B}}$$

إذن: $\vec{a} = \dfrac{q\vec{V}\wedge\vec{B}}{m}$

من هذه العلاقة يتبين أن متجهة التسارع $\vec{a}$ عمودية على المتجهتين $\vec{V}$ و $\vec{B}$.

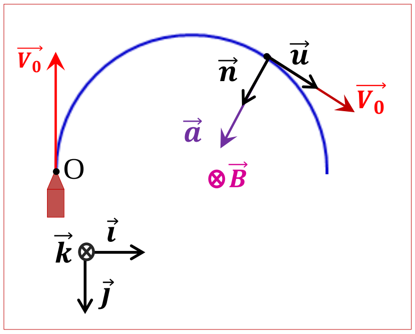
ب- طبيعة الحركة:

- لدينا $V=V_0$ لأن الطاقة الحركية ثابتة $E_c=cte$.
- عند اللحظة $t=0$ تدخل الدقيقة المجال المغنطيسي عند النقطة O أصل المعلم.

-لدينا $\vec{B} = B\vec{k}$ و $\vec{a}\perp\vec{B}$ إذن : $a_z=0$ و منه $V_z=cte$ إذن : $z=cte.t+z_0$ و

حسب الشروط البدئية : عند $t=0$ ؛ $z_0=0$ و $V_{z0}=0$ لأن $\vec{V_0}\perp\vec{B}$ إذن: $z=0$

و بالتالي حركة الدقيقة المشحونة داخل المجال المغنطيسي المنتظم حركة مستوية.



ج- تعبير التسارع في أساس فريني:

$\vec{a} = \dfrac{dV}{dt}\vec{u} + \dfrac{V^2}{\rho}\vec{n}$ مع ρ شعاع انحناء المسار.

بما أن: $V=V_0=cte$ فإن: $\dfrac{dV}{dt} = 0$

و بالتالي : $\vec{a} = \dfrac{V_0^2}{\rho}\vec{n}$

إذن قانون نيوتن الثاني يصبح: $\dfrac{V_0^2}{\rho}\vec{n} = \dfrac{q\vec{V}\wedge\vec{B}}{m}$

لدينا: $|q\overrightarrow{V_0}\wedge\vec{B}| = q.V_0.B.sin\alpha$ و بما أن: $\vec{B}$⍰$\overrightarrow{V_0}$ فإن $\alpha=90°$ و بالتالي : $|q\overrightarrow{V_0}\wedge\vec{B}| = q.V_0.B$

و منه : $\dfrac{V_0^2}{\rho} = \dfrac{|q|.V_0.B}{m}$ و أخيراً: $\rho = \dfrac{mV_0}{|q|.B}$

بما أن $V_0=cte$ و $m=cte$ و $B=cte$ و $q=cte$ فإن : $\rho=cte$

و بالتالي مسار الدقيقة دائري شعاعه r هو: $r = \dfrac{mV_0}{|q|.B}$

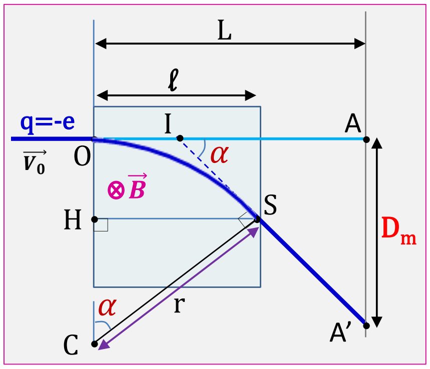
نتائج:

- mV_0 يمثل كمية الحركة p ، إذن: $p=mV_0=r.|q|.B$.
- $\dfrac{V_0}{r}$ تمثل السرعة الزاوية ω إذن : $\omega = \dfrac{V_0}{r} = \dfrac{|q|.B}{m}$
- الدور T هو المدة الزمنية التي تستغرقها الدقيقة لإنجاز دورة كاملة ، إذن: $T = \dfrac{2\pi}{\omega} = \dfrac{2\pi.m}{|q|.B}$

د- الإنحراف المغنطيسي:

عندما تغادر هذه الدقائق المجال المغنطيسي في نقطة S فإنها تأخذ حركة مستقيمية منتظمة يكون مسارها مماسا للمسار الدائري في النقطة S ، لتصطدم بشاشة عند النقطة A’. و في غياب المجال المغنطيسي يبقى مسار الدقائق مستقيما فتصطدم بنقطة A. يشكل المقدار $D_m=AA’$ الإنحراف المغنطيسي.

أعط تبير D_m بدلالة L و ℓ و q و B و m و V_0 . علما أن الزاوية α صغيرة جدا و $L>>\ell$.



لدينا من خلال الشكل: $tan\alpha = \dfrac{D_m}{IA}$ و من جهة أخرى : $sin\alpha = \dfrac{l}{r}$ و بما أن α صغيرة جدا فإن:

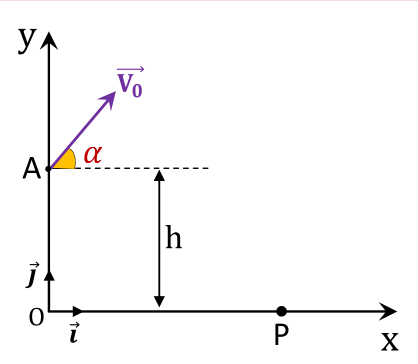
$sin\alpha=tan\alpha=\alpha$ ومنه: $\dfrac{D_m}{IA} = \dfrac{l}{r}$ و من جهة ثانية لدينا: $IA=L-OI$ و بما أن : $L>>\ell$ فإن:

$IA=L$ و بالتالي: $D_m = \dfrac{l}{r}.L$ و بما أن : $r = \dfrac{mV_0}{|q|.B}$ فإن : $D_m = \dfrac{L.l.|q|}{mV_0}.B$

يتناسب الإنحراف المغطيسي اطراداً مع شدة المجال المغنطيسي : $D_m=K.B$.

تمرين موضوعاتي

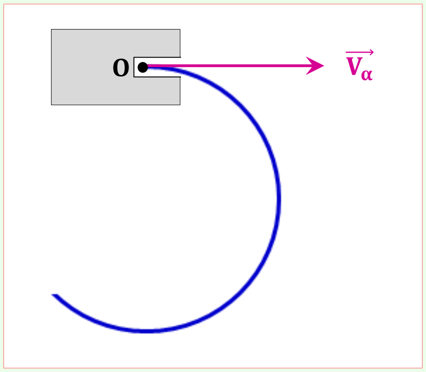
الموضوع الأول:



نقذف من نقطة A تبعد عنه سطح الأرض بمسافة $h=1m$ ، في لحظة نعتبرها أصلا للتواريخ، كرية بسرعة بدئية $V_0=2\ m.s^{-1}$ تكون متجهتها زاوية $\alpha=30°$ مع الخط الأفقي (أنظر الشكل جانبه) . نأخذ $g=10\ m.s^{-1}$.

1. بتطبيق القانون الثاني لنيوتن، أوجد المعادلتين التفاضليتين التين تحققهما V_x و V_y إحداثيتي متجهة سرعة مركز قصور الكرية.
2. أوجد التعبير الحرفي للمعادلتين الزمنيتين x(t) و y(t) لحركة G .استنتج التعبير الحرفي لمعادلة مسار الحركة.
3. أوجد الإرتفاع القصوي لمركز القصور G بالنسبة لسطح الأرض.
4. تسقط الكرية في نقطة P من سطح الأرض، أوجد إحداثيات النقطة P .
5. أوجد إحداثيات متجهة السرعة في النقطة P ، ثم استنتج شدتها.

الموضوع الثاني:



تدخل دقائق α ناتجة عن تفاعل نووي بسرعة $\vec{V_\alpha}$ من النقطة O حيز في الفراغ يوجد به مجال مغنطيسي منتظم متجهته $\vec{B}$ متعامدة مع $\vec{V_\alpha}$ فتنحرف هذه الدقائق كما يبين الشكل جانبه.

1. أنقل التبيانة و مثل عليها منحى $\vec{B}$ معللا جوابك.
2. بين أن حركة الدقيقة α ، في الحيز ابذي يوجد به المجال المغنطيسي، حركة دائرية منتظمة (نهمل وزن الدقيقة α).
3. أوجد تعبير V_α بدلالة e و R و m و B .نذكر أن $q=2e$ بالنسبة للدقيقة α .
4. استنتج تعبير كل من كمية الحركة p و السرعة الزاوية ω و الدور T للحركة.
5. أوجد تعبير الطاقة الحركية E_c للدقيقة α بدلالة e و R و m و B .

الوحدة 14
الفيزياء

ثانوية الرازي التأهيلية
ترجيست – نيابة الحسيمة
مقر الفيزياء و الكيمياء

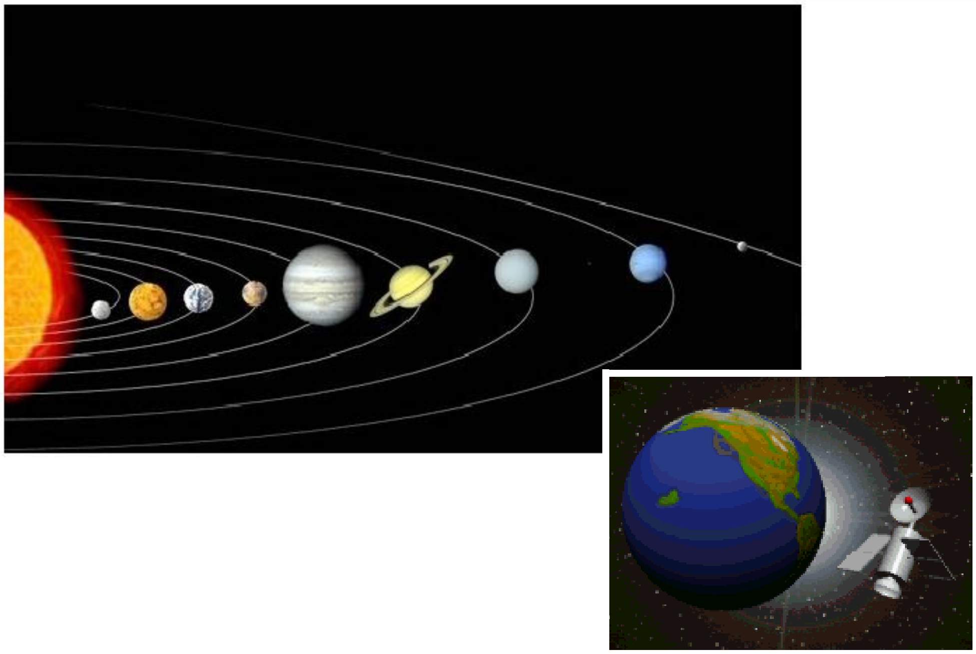
المستوى : 2 بكالوريا
الموسم الدراسي :
2013 - 2014

مجزوءة الفيزياء
الجزء الرابع : الميكانيك
الدورة الثانية
الغلاف الزمني : 5 h ساعات

الدرس
SP+SM

تطبيق 3 : الأقمار الإصطناعية و الكواكب

Application 3 : Satellites artificiels et planètes



$$F = \frac{m.V_G^2}{r}$$

$$V = \sqrt{\frac{G.m}{r}}$$

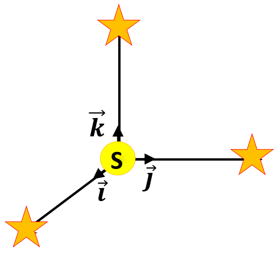
$$\frac{T^2}{r^3} = k$$

إعداد : ذ. ياسين الدراز

معارف و مهارات - الأقمار الإصطناعية و الكواكب -

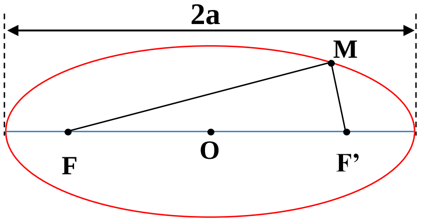
- معرفة المرجع المركزي الشمسي والمرجع المركزي الأرضي.
- معرفة القوانين الثلاثة لكيبلر في حالة مسار دائري ومسار إهليليجي.
- تطبيق القوانين الثلاثة لكيبلير في حالة مسار دائري.
- معرفة التعبير المتجهي لقانون التجاذب الكوني.
- إثبات القانون الثالث لكيبلر في حالة مسار دائري.
- معرفة أن القوة التي يخضع لها مركز قصور قمر اصطناعي أو كوكب قوة انجذابية مركزية.
- تطبيق القانون الثاني لنيوتن على مركز قصور قمر اصطناعي أو كوكب لتحديد طبيعة الحركة

I القوانين الثلاثة لكيبلر Kepler:



لدراسة حركة الكواكب في النظام الشمسي، نعتبر المعلم $S\,(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ المرتبط بالمرجع المركزي الشمسي ، و الذي نعتبره غاليليا ، بحيث أصله S هو مركز الشمس و محاوره الثلاثة موجهة نحو ثلاثة نجوم ثابتة.

1- القانون الأول لكيبلر - قانون المدارات الإهليلجية:



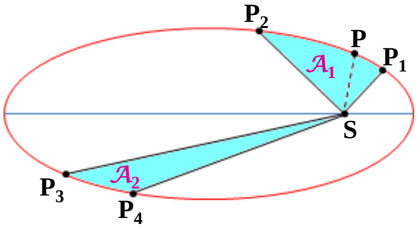
مسار مركز قصور كوكب، في المرجع المركزي الشمسي، عبارة عن إهليلج يشكل مركز الشمس إحدى بؤرتيه.

في الرياضيات:

الإهليلج في مستوى هو مجموعة النقط M التي تحقق المعادلة : $FM+F'M=2a$

بحيث؛ F و F' نقطتان ثابتتان تسميان **بؤرتي الإهليلج** ، و 2a **طول المحور الكبير للإهليلج**.

2- القانون الثاني لكيبلر - قانون المساحات:



خلال مدد زمنية متساوية ، تكسح القطعة [SP] التي تربط مركز الشمس S بمركز الكوكب P مساحات متقايسة.

خلال نفس المدة الزمنية $\Delta t=t_2-t_1=t_4-t_3$ تكون المساحتين المكسوحتين متساويتين :

$$\mathcal{A}_1=\mathcal{A}_2$$

3- القانون الثالث لكيبلر - قانون الأدوار:

يتناسب مربع الدور المداري اطرادا مع مكعب نصف طول المحور الكبير للإهليلج:

$$\frac{T^2}{a^3}=k$$

T : الدور المداري (المدة الزمنية اللازمة لإنجاز دورة كاملة حول الشمس) بالثانية s .

a : نصف طول المحور الكبير للإهليلج بـ m .

K: ثابتة لا تتعلق بالكوكب ولكن تتعلق بالشمس $(s^2.m^{-3})$.

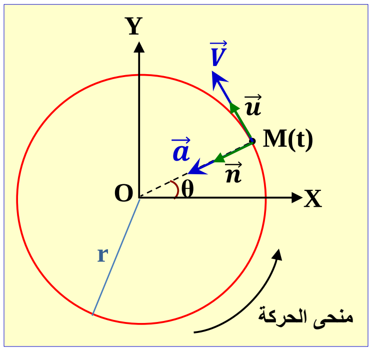
ملاحظة:

بالنسبة للحالات التي سندرسها، سنعتبر أن مسار الكوكب دائري شعاعه r ، في هذه الحالة، يطبق قانون كيبلر باعتبار بؤرتي الإهليلج متطابقتين مع الدائرة . و يكتب قانون الأدوار كما يلي: $\frac{T^2}{r^3}=k$

II الحركة الدائرية المنتظمة : mouvement circulaire uniforme

1- خاصيات الحركة الدائرية المنتظمة :

نقول أن حركة نقطة دائرية منتظمة، إذا كان مسارها دائري و سرعتها ثابتة. و هذا يعني أن:



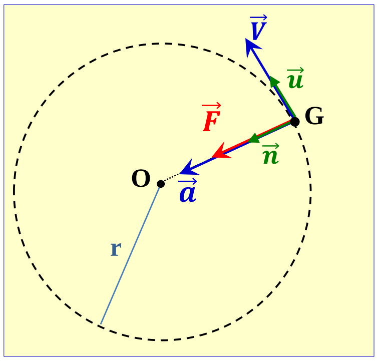
- السرعة الزاوية ثابتة: $\omega=\dot{\theta}=\frac{d\theta}{dt}=\frac{V}{r}=cte$ وحدتها $rad.s^{-1}$.
- متجهة السرعة في معلم فريني: $\vec{V}=V.\vec{u}=r\omega.\vec{u}$
- متجهة التسارع في معلم فريني: $\vec{a}=\frac{dV}{dt}.\vec{u}+\frac{V^2}{r}\vec{n}$

و بما أن السرعة الخطية ثابتة V=cte فإن:

$\frac{dV}{dt}=0$ و بالتالي: $\vec{a}=\frac{V^2}{r}\vec{n}=r\omega^2\vec{n}$ ، إذن متجهة التسارع انجذابية مركزية.

- دور الحركة هو: $T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi.r}{V}$

-3 الشرطان الأساسيان للحصول على حركة دائرية منتظمة:



نعتبر جسماً صلباً كتلته m و حركة مركز قصوره G دائرية منتظمة، شعاع مساه r .

في معلم غاليلي، نطبق القانون الثاني لنيوتن: $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{F} = m\overrightarrow{a_G}$

- $\vec{F}$ هي مجموع متجهات القوى التي يخضع لها الجسم.

لدينا: $\vec{a} = \frac{V^2}{r}\vec{n}$ إذن: $\vec{F} = \frac{mV^2}{r}\vec{n}$.

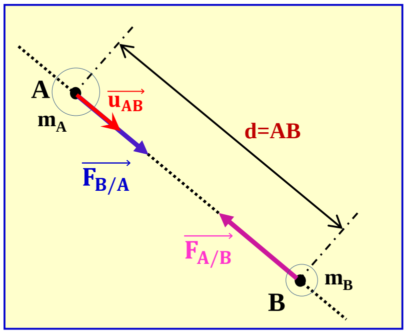
لكي تكون حركة مركز قصور الجسم دائرية منتظمة ، يجب أن يتحقق الشرطان التاليان:

♣ **أن يكون مجموع متجهات القوى انجذابيا مركزياً** (نحومركز الدوران).

♣ **أن يكون منظم مجموع متجهات القوى ثابتا و يحقق العلاقة التالية:** $F = \frac{mV^2}{r}$.

III قانون نيوتن للتجاذب الكوني :

نص القانون: تتجاذب الأجسام بسبب كتلتها، فيطبق بعضها على البعض قوى تأثير تجاذبي.



A
m_A
$\overrightarrow{u_{AB}}$
d=AB
$\overrightarrow{F_{B/A}}$
$\overrightarrow{F_{A/B}}$
m_B
B

نعتبر جسمين ماديين نقطيين (A) و (B) كتلتاهما m_A و m_B و تفصل بينهما المسافة d=AB يطبق أحدهما على الآخر قوة تجاذب عن بعد تسمى **قوة التجاذب الكوني.**

$$\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}} = -G\frac{m_A . m_B}{AB^2}\overrightarrow{u_{AB}}$$

G : ثابتة التجاذب الكوني؛ قيمتها $G=6{,}67.10^{-11}\ m^3Kg^{-1}s^{-2}$

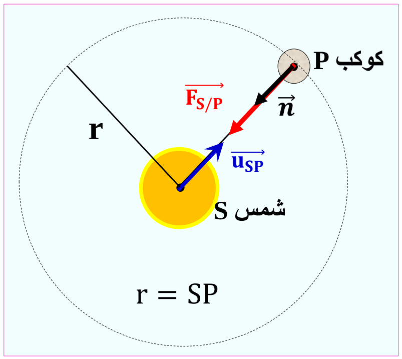
$\overrightarrow{u_{AB}}$: متجهة واحدية موجهة من نحو B .

IV الحركة المدارية للكوكب :mouvement orbitale de la planète

-1 تطبيق القانون الثاني لنيوتن:

نعتبر كوكبا كتلته m_P و مركز قصوره P، في حركة دوران حول الشمس كتلتها m_S و مركزها S .

المجموعة المدروسة: { الكوكب (P) }



جرد القوى: يخضع الكوكب إلى قوة التجاذب الكوني المطبقة علية من طرف الشمس $\overrightarrow{F_{S/P}}$.

في المرجع المركزي الشمسي، الذي نعتبره غاليليا، نطبق القانون الثاني لنيوتن على الكوكب أثناء حركته.

نكتب: $\sum\overrightarrow{F_{ext}} = \overrightarrow{F_{S/P}} = m_P\ \vec{a}$ ونعلم أن : $\overrightarrow{F_{S/P}} = -G\frac{m_S . m_P}{r^2}\ \overrightarrow{u_{SP}}$

و حسب الشكل لدينا : $\overrightarrow{u_{SP}} = -\vec{n}$ إذن: $\overrightarrow{F_{S/P}} = G\frac{m_S . m_P}{r^2}\ \vec{n}$ و بالتالي فالقوة $\overrightarrow{F_{S/P}}$

انجذابية مركزية : تحقق الشرط الأول للحصول على حركة دائرية منتظمة.

من جهة أخرى لدينا: $\vec{a} = \frac{V^2}{r}\vec{n}$ إذن: $F_{S/P} = \frac{m_P V^2}{r} = cte$ تحقق الشرط الثاني.

تعبير السرعة V : لدينا: $G\frac{m_S . m_P}{r^2} = \frac{m_P V^2}{r}$ إذن: $V = \sqrt{\frac{G . m_S}{r}}$

-2 تعبير الدور المداري T:

لدينا : $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi\, r}{V}$ و $V = \sqrt{\frac{G . m_S}{r}}$ إذن: $T = \frac{2\pi\, r}{\sqrt{\frac{G . m_S}{r}}}$ و بالتالي: $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{G . m_S}}$

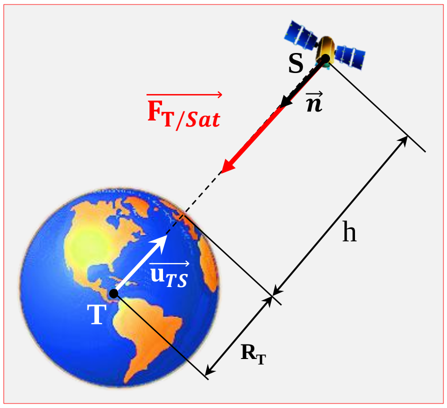
التحقق من القانون الثالث لكيبلر: لدينا: $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{G . m_S}}$ إذن: $T^2 = 4\pi^2 . \frac{r^3}{G . m_S}$ و بالتالي: $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G . m_S} = cte$

ملاحظة هامة: تمكن معرفة T و r بالنسبة لكوكب ما من معرفة كتلة الكوكب المركزي (كتلة الشمس في هذه الحالة)

V الحركة المدارية للأقمار الإصطناعية للأرض :

القمر هو كل جسم في حركة مدارية حول كوكب ، كالأقمار الطبيعية و الأقمار الإصطناعية .

1- تعبير السرعة و الدور المداري:



المرجع الأنسب لدراسة حركة الأقمار الإصطناعية هو **المرجع المركزي الأرضي** .

نعتبر القمر الإصطناعي نقطيا و كتلته m_S ممركزة في مركزه S . و نعتبر الأرض ذات توزيع كروي مماثل للكتلة (كتلتها m_T) و مركزها T .

المجموعة المدروسة: {القمر الإصطناعي}

جرد القوى: يخضع القمر الإصطناعي إلى قوة التجاذب الكوني المطبقة علية من طرف الأرض $\overrightarrow{F_{T/Sat}}$.

نطبق القانون الثاني لنيوتن : $\sum\overrightarrow{F_{ext}} = \overrightarrow{F_{T/Sat}} = m_{Sat}\,\vec{a}$

لدينا : $\overrightarrow{F_{T/Sat}} = -G\dfrac{m_T.m_{Sat}}{(R_T+h)^2}\,\overrightarrow{u_{TS}} = G\dfrac{m_T.m_{Sat}}{(R_T+h)^2}\,\vec{n}$ إذن $\overrightarrow{F_{T/Sat}}$ إنجذابية مركزية ؛ **تحقق الشرط الأول.**

من جهة أخرى لدينا: $\vec{a} = \dfrac{V^2}{r}\vec{n}$ إذن: $F_{T/Sat} = \dfrac{m_P V^2}{r} = cte$ **تحقق الشرط الثاني.** ⟸ الحركة دائرية منتظمة.

تعبير السرعة V : لدينا: $G\dfrac{m_T.m_{Sat}}{(R_T+h)^2} = \dfrac{m_{Sat}V^2}{R_T+h}$ إذن: $V = \sqrt{\dfrac{G.m_T}{R_T+h}}$

تعبير الدور T : لدينا : $T = \dfrac{2\pi\, r}{V}$ و $V = \sqrt{\dfrac{G.m_T}{R_T+h}}$ إذن: $T = \dfrac{2\pi\, r}{\sqrt{\dfrac{G.m_T}{R_T+h}}}$ و بالتالي: $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{(R_T+h)^3}{G.m_T}}$

2- الإستقمار satellisation:

الإستقمار هو وضع قمر اصطناعي في مداره حول الأرض و إعطاؤه سرعة كافية تخول له حركة دائرية منتظمة حول الأرض.

و تتم هذه العملية في مرحلتين:

- ❖ حمل القمر الإصطناعي بعيدا عن سطح الأرض (h>200 Km) حيث ينعدم تقريبا الغلاف الجوي لتفادي الإحتكاك المائع.
- ❖ إطلاق القمر بسرعة $\overrightarrow{V_0}$ عمودي على متجهة الموضع $\overrightarrow{TS}$ بحيث تكون قيمتها : $V = \sqrt{\dfrac{G.m_T}{R_T+h}}$.

3- الأقمار الإصطناعية الساكنة بالنسبة للأرض:

نقول أن قمراً اصطناعيا ساكنا بالنسبة للأرض ، إذا بدا دوماً غير متحرك بالنسبة لملاحظ يوجد على سطح الأرض. و ولتحقيق ذلك يجب توفير الشروط التالية:

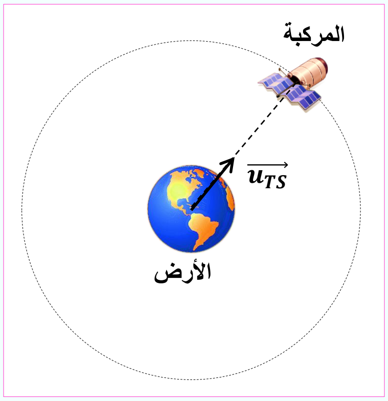
- ♠ أن يدور القمر الإصطناعي بنفس السرعة الزاوية التي تدور بها الأرض و في نفس المنحى.
- ♠ أن يكون الدور المداري للقمر الإصطناعي مساويا لدور حركة الدوران الخاصة للأرض حول قطبيها، أي : $T_{Sat}=T_T\approx 24h$.
- ♠ أن يوجد مدار القمر الإصطناعي في مستوى خط الإستواء للأرض.

يمكن حساب العلو الذي يجب أن يوجد عليه القمر الإصطناعي ليكون ساكناً بالنسبة للأرض:

لدينا : $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{(R_T+h)^3}{G.m_T}}$ إذن : $T^2 = 4\pi^2\dfrac{(R_T+h)^3}{G.m_T}$ و منه: $h = \sqrt[3]{\dfrac{T^2.G.m_T}{4\pi^2}} - R_T$ **ت.ع:** h=36 000 Km

تمرين موضوعاتي

الموضوع الأول:



بعد $10\ mn$ **من انطلاقها**، تدخل المركبة الفضائية إلى مدارها الدائري حول الأرض على علو $z=300Km$. نعتبر المركبة الفضائية نقطة مادية كتلتها $m=69{,}68\ .10^3\ Kg$ و نعتبر الأرض كروية الشكل شعاعها $R_T=6400\ Km$ و كتلتها M_T.

نعطي: $G=6{,}67.10^{-11}\ m^3Kg^{-1}s^{-2}$.

1. مثل على الشكل جانبه متجهة القوة المطبقة على المركبة.
2. بتطبيق القانون الثاني لنيوتن، أوجد تعبير تسارع المركبة بدلالة z و R_T و M_T و G.
3. أعط تعبير سرعة المركبة بدلالة M_T و G و $r=R_T+z$.
4. تحقق من القانون الثالث لكيبلر.
5. علما أن سرعة المركبة هي $V=7{,}74\ Km/s$ ، أحسب كتلة الأرض M_T .

الموضوع الثاني: تحديد بعض المقادير الفيزيائية لكوكب المشتري.

نعتبر أن للشمس و للمشتري تماثلا كرويا لتوزيع الكتلة ، و نرمز لكتلة المشتري بـ M_J و لكتلة الشمس بـ $M_S=2.10^{30}\ Kg$.
نعتبر أيضا أن حركة المشتري في المرجع المركزي الشمسي دائري شعاع مسارها r و دورها $T_J=3{,}74.10^{38}\ s$.

1. أكتب تعبير شدة التجاذب الكوني بين الشمس و المشتري بدلالة M_J و M_S و r و G . بحيث $G=6{,}67.10^{-11}\ m^3Kg^{-1}s^{-2}$.
2. بتطبيق القانون الثاني لنيوتن، أكتب إحداثيتي متجهة التسارع في معلو فريني، و استنتج ان حركة المشتري دائرية منتظمة.
3. بين أن القانون الثالث لكيبلر يكتب كما يلي: $\frac{T^2}{r^3}=\frac{4\pi^2}{G.M_S}$ ، ثم تحقق أن : $r\approx 7{,}8.10^{11}\ m$.
4. أوجد قيمة السرعة V للمشتري خلال دورانه حول الشمس.
5. نعتبر أن القمر « **إيو Io** » أحد أقمار المشتري التي اكتشفها العالم غاليلي ، يوجد في حركة دائرية منتظمة حول مركز المشتري شعاعها $r'=4{,}2.10^8\ m$ و دورها $T_{io}=1{,}77\ jours$. نهمل أبعاد القمر Io أما باقي الأبعاد ، كما نهمل جميع القوى المطبقة عليه أمام قوة التجاذب الكوني بينه و بين المشتري. بدراسة حركة القمر Io في مرجع أصله منطبق مع مركز المشتري الذي نعتبره غاليليا ، حدد الكتلة M_J لكوكب المشتري.

الوحدة 15 الفيزياء

ثانوية الرازي التأهيلية
ترجيست – مديرية الحسيمة
مقر الفيزياء و الكيمياء

المستوى : 2 بكالوريا
الموسم الدراسي :
2012 - 2013

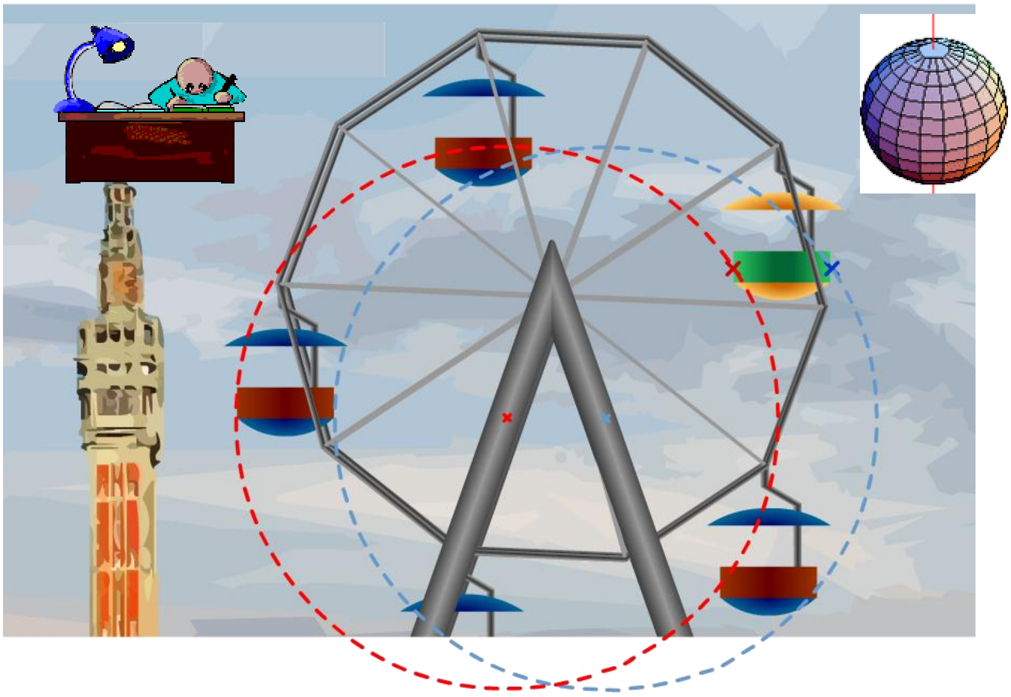
مجزوءة الفيزياء
الجزء الرابع : الميكانيك
الدورة الثانية
الغلاف الزمني : 5 h ساعات

حركة دوران جسم صلب حول محور ثابت

Mouvement de rotation d'un solide autour d'un axe fixe

الدرس

SP+SM



$$\omega = \dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt}$$

$$V = r\omega = r\dot{\theta}$$

$$\ddot{\theta} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$\Sigma\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_i}) = J_\Delta.\ddot{\theta}$$

إعداد : ذ. ياسين الدراز

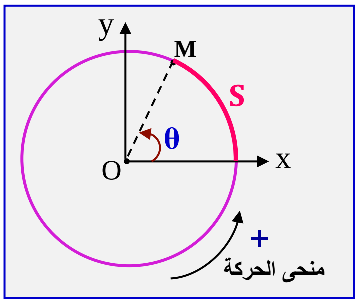
معارف و مهارات – العلاقة بين مجموع العزوم و التسارع الزاوي –

- معلمة نقطة من جسم صلب في دوران حول محور ثابت بأفصوله الزاوي.
- معرفة تعبير التسارع الزاوي ووحدته.
- معرفة واستغلال تعبيري المركبتين a_N و a_T بدلالة المقادير الزاوية.
- معرفة وتطبيق العلاقة الأساسية للديناميك في حالة الدوران حول محور ثابت لإثبات المعادلة التفاضلية للحركة وإيجاد حلها.
- معرفة وحدة عزم القصور.
- معرفة واستغلال مميزات حركة الدوران المتغير بانتظام ومعادلاتها الزمنية.
- تطبيق القانون الثاني لنيوتن والعلاقة الأساسية للديناميك في حالة الدوران على مجموعة ميكانيكية مركبة من جسمين على الأكثر في حالة إزاحة مستقيمية وآخر في حالة دوران حول محور ثابت لإثبات المعادلات التفاضلية ولتحديد مقادير حركية ومقادير تحريكية.

I الأفصول الزاوي - السرعة الزاوية - التسارع الزاوي :

يكون جسم صلب (غير قابل للتشويه) في دوران حول محور ثابت (Δ) إذا كانت جميع نقط الجسم في حركة دائرية مركزة على هذا المحور. باستثناء النقط المنتمية للمحور (Δ).

1- الأفصول الزاوي θ abscisse angulaire:



الأفصول الزاوي لنقطة متحركة من جسم صلب في حركة دوران حول محور ثابت هي الزاوية الموجهة θ بحيث:

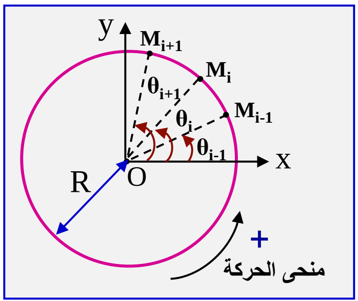
$$\theta = (\overrightarrow{Ox}, \overrightarrow{OM})$$

نعبر عن θ في النظام العالمي للوحدات بالراديان radian نرمز له بـ rad .

الأفصول المنحني هو طول القوس $S = \overset{\frown}{AM}$ ، S بالمتر m.

العلاقة بين الأفصول الزاوي θ و الأفصول المنحني S هي: $S = R\theta$

2- السرعة الزاوية $\dot{\theta}$ vitesse angulaire:



$$\dot{\theta}_i = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{2\tau}$$

نعتبر موضعا M_i لنقطة M من جسم صلب يدور حول محور ثابت (Δ).

السرعة الزاوية اللحظية للنقطة M عند اللحظة t هي المشتقة بالنسبة للزمن للأفصول الزاوي لهذه النقطة:

$$\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt} \longleftarrow \text{الوحدة } rad.s^{-1}$$

العلاقة بين السرعة الزاوية $\dot{\theta}$ و السرعة الخطية V هي: $V = \dot{S} = R\dot{\theta}$. V بـ $m.s^{-1}$

R يمثل شعاع المسار و S قوس منه. مبيانيا نحسب السرعة الزاوية باستعمال علاقة التأطير جانبه. بحيث τ هي المدة الزمنية الفاصلة بين تسجيلين متتاليين.

3- التسارع الزاوي $\ddot{\theta}$ accélération angulaire:

أ- تعريف :

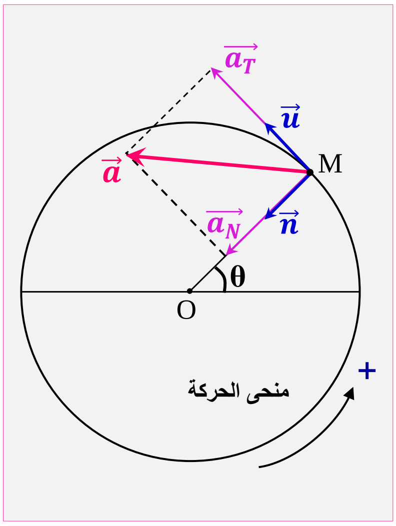
التسارع الزاوي هو مشتقة السرعة الزاوية بالنسبة للزمن :

$$\ddot{\theta} = \frac{d\dot{\theta}}{dt} \longleftarrow \text{بالوحدة } rad.s^{-2}$$

ملاحظة :

مبيانيا، لحساب التسارع الزاوي اللحظي نستعمل العلاقة :

$$\ddot{\theta}_i = \frac{\dot{\theta}_{i+1} - \dot{\theta}_{i-1}}{2\tau}$$



ب- التسارع في معلم فريني :

في معلم فريني نكتب متجهة التسارع : $\vec{a} = \overrightarrow{a_N} + \overrightarrow{a_T}$

مع : $\overrightarrow{a_N} = a_N\,\vec{n}$ و تسمى بالمركبة المنظمية. منظمها: $a_N = \frac{V^2}{R}$

و: $\overrightarrow{a_T} = a_N\,\vec{u}$ و تسمى بالمركبة المماسية. منظمها: $a_T = \frac{dV}{dt}$

بما أن : $V = R\dot{\theta}$ فإن: $V^2 = R^2\dot{\theta}^{\,2}$ و بالتالي : $a_N = R.\dot{\theta}^{\,2}$

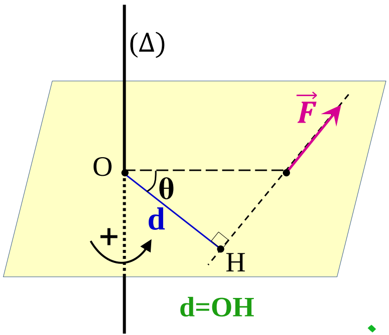
من جهة أخرى لدينا : $\frac{dV}{dt} = R.\ddot{\theta}$ و بالتالي : $a_T = R.\ddot{\theta}$

$$\begin{cases} a_N = R.\dot{\theta}^{\,2} \\ a_T = R.\ddot{\theta} \end{cases}$$

وحدة كل من a_N و a_T في النظام العالمي للوحدات هي : $m.s^{-2}$.

II العلاقة الأساسية للتحريك في حالة الدوران حول محور ثابت:

1- عزم قوة (تذكير) *moment d'une force*:



عزم قوة $\vec{F}$ بالنسبة لمحور (Δ) متعامد مع خط تأثيرها هو جداء الشدة F لهذه القوة و المسافة d التي تفصل المحور (Δ) عموديا على خط تأثير القوة.

$\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = \pm F.d$ F بالنيوتن N و d بالمتر m . إذن وحدة العزم هي: **N.m**

العزم مقدار جبري . يتم تحديد إشارته حسب المنحى الإعتباطي الذي نختاره .

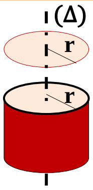
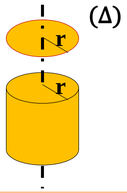
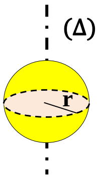
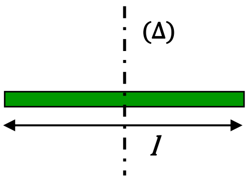
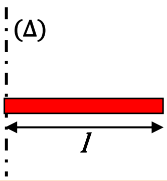
2- العلاقة الأساسية للتحريك (الديناميك) – نص العلاقة :

في معلم مرتبط بالأرض، و بالنسبة لمحور ثابت (Δ) ، مجموع عزوم القوى المطبقة على جسم صلب في دوران حول محور ثابت ، يساوي، في كل حظة، جداء عزم القصور J_Δ و التسارع الزاوي $\ddot{\theta}$ للجسم.

$$\Sigma\mathcal{M}_\Delta(\vec{F_i}) = J_\Delta.\ddot{\theta}$$

J_Δ : عزم قصور الجسم بـــ $Kg.m^2$

$\ddot{\theta}$: التسارع الزاوي للجسم بـــ $m.s^{-2}$

حلقة أو أسطوانة مجوفة	قرص أو أسطوانة مملوءة	كرة مملوءة	ساق يمر Δ من منتصفها	ساق يمر Δ من طرفها
				
$J_\Delta = mr^2$	$J_\Delta = \frac{1}{2}mr^2$	$J_\Delta = \frac{2}{5}mr^2$	$J_\Delta = \frac{1}{12}mr^2$	$J_\Delta = \frac{1}{3}mr^2$

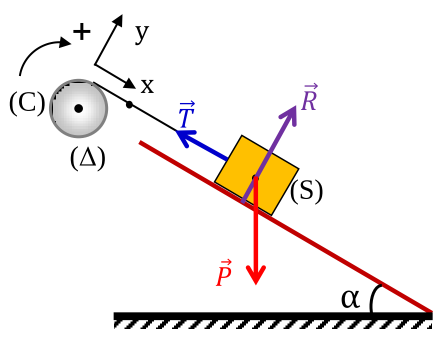
III تطبيقات: حركة مجموعة ميكانيكية في حالة إزاحة و دوران حول محور ثابت:

تطبيق1

نعتبر التركيب الممثل في الشكل جانبه و المتكون من:

- جسم صلب (S) كتلته m_S=250 g قابل للإنزلاق على سكة مائلة بزاوية α=30° بالنسبة للمستوى الأفقي.
- أسطوانة (مملوءة) (C) متجانسة شعاعها r=8 cm ك كتلتها m_C=100 g قابلة للدوران حول محور تماثلها الأفقي (Δ) الثابت.
- خيط غير مدود، كتلته مهملة، ملفوف حول الأسطوانة ربط طرفه الحر بالجسم (S) ، نعتبر أن الإحتكاكات مهملة و الخيط لا ينزلق على مجرى البكرة .

نحرر المجموعة فينزلق الجسم (S) نحو الأسفل. عبر عن تسارع الجسم (S) بدلالة g و α و m_C و m_S . ثم احسب قيمته . نعطي : $g=10m.s^{-2}$

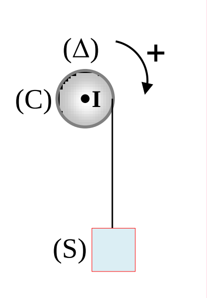


تطبيق2

نعتبر بكرة (P) متجانسة شعاعها r=10 cm و كتلتها m_P=200 g قابلة للدوران حول محور أفقي (Δ) يمر من مركزها I. نلف حول الأسطوانة خيطا غير قابل للإمتداد كتلته مهملة، و نربط بطرفه الأسفل جسما صلبا (S) كتلته m_S=800 g ، الخيط لا ينزلق على الأسطوانة.

عزم المزدوجة المقاومة الناتجة عن الإحتكاك و المطبقة على محور البكرة هي : $\mathcal{M}_C$=-0,38 N.m .

1. بتطبيق العلاقة الأساسية للتحريك على البكرة أوجد تعبير T' ، شدة القوة المطبقة من طرف الخيط على البكرة (P).
2. بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على الجسم (S) أوجد تعبير T ، شدة القوة المطبقة من طرف الخيط على (S) .
3. أحسب قيمة تسارع الجسم (S) ثم استنتج التسارع الزاوي للأسطوانة . نعطي : $g=9,81m.s^{-2}$.



الحل 1

أ- دراسة حركة الجسم (S) :

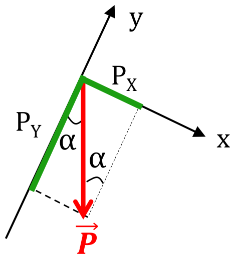
المجموعة المدروسة : { الجسم (S) }

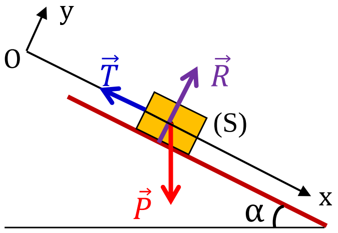
جرد القوى: يخضع الجسم (S) للقوى التالية:

$\vec{P}$: وزنه.

$\vec{R}$: تأثير المستوى المائل.

$\vec{T}$: القوة المطبقة من طرف الخيط.





في معلم متعامد ممنظم نعتبره غاليليا نطبق القانون الثاني لنيوتن على الجسم (S) أثناء حركته فنكتب :

$$\vec{P}+\vec{R}+\vec{T}=m_S.\overrightarrow{a_G}$$

نسقط هذه العلاقة على المحور [Ox) : $P_x+R_x+T_x=m.a_x$

على المحور [Oy) : $P_y+R_y+T_y=m.a_y$

$a_x=a_G=a$ و $a_y=0$ لإن الحركة تتم وفق المحور [Ox) فقط.

بالنسبة للمحور [Ox) نجد: $m_sg.\sin\alpha-T=m_sa$

إذن : $T=m_Sa-m_Sg.\sin\alpha=m_S(a-g.\sin\alpha)$ ❶

بالنسبة للمحور [Oy) نجد : $R-m_sg.\cos\alpha=0$

إذن : $R=m_sg.\cos\alpha$

ب- دراسة حركة الأسطوانة (C) :

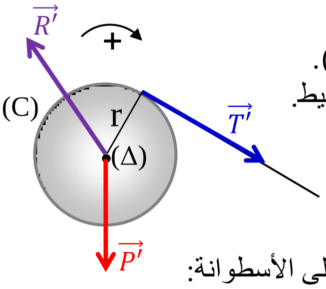
المجموعة المدروسة : { الأسطوانة (C) }

جرد القوى: تخضع الأسطوانة (C) للقوى التالية:

$\vec{P'}$: وزنها.

$\vec{R'}$: تأثير المستوى المحور (Δ).

$\vec{T'}$: القوة المطبقة من طرف الخيط.



نطبق العلاقة الساسية للتحريك على الأسطوانة:

نكتب: $$\mathcal{M}_\Delta(\vec{P'})+\mathcal{M}_\Delta(\vec{R'})+\mathcal{M}_\Delta(\vec{T'})=J_\Delta.\ddot{\theta}$$

$\mathcal{M}_\Delta(\vec{R'})=\mathcal{M}_\Delta(\vec{P'})=0$ لأن $\vec{R'}$ و $\vec{P'}$ يلاقيان المحور (Δ).

باعتبار المنحى الموجب لدوران الأسطوانة نكتب:

$\mathcal{M}_\Delta(\vec{T'})=+r.T'$ إذن: $r.T'=J_\Delta.\ddot{\theta}$ و منه: $T'=\frac{J_\Delta.\ddot{\theta}}{r}$ ❷

بما أن الخيط غير قابل للإمتداد فإنه إذن يحتفظ بنفس التوتر في جميع نقطه و بالتالي: T'=T .

من خلال العلاقتين 1 و 2 نكتب: $\frac{J_\Delta.\ddot{\theta}}{r}=m_Sa-m_S.g\sin\alpha$

بما أن الخيط لاينزلق على مجرى البكرة فإن : S=rθ .

و بالتالي: $V=\dot{S}=r\dot{\theta}$ ومنه: $a=\dot{V}=r\ddot{\theta}$ أي: $\ddot{\theta}=\frac{a}{r}$

و بما أن : $J_\Delta=\frac{1}{2}m_Cr^2$ فإن العلاقة السابقة تصبح:

$$a=\frac{g.\sin\alpha}{1+\frac{m_C}{2m_S}}$$

CQFD تطبيق عددي: $a=4{,}17\ m.s^{-2}$

الحل 2

أ- دراسة حركة الأسطوانة (C) :

المجموعة المدروسة : { الأسطوانة (P) }

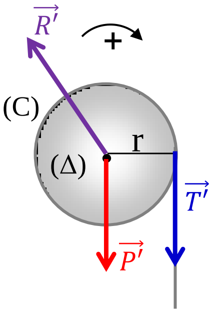
جرد القوى: تخضع الأسطوانة (P) للقوى التالية:

$\vec{P'}$: وزنها.

$\vec{R'}$: تأثير المستوى المحور (Δ).

$\vec{T'}$: القوة المطبقة من طرف الخيط.

$\mathcal{M}_C$: المزدوجة المقاومة.



نطبق العلاقة الساسية للتحريك على الأسطوانة؛ نكتب:

$$\mathcal{M}_C+\mathcal{M}_\Delta(\vec{P'})+\mathcal{M}_\Delta(\vec{R'})+\mathcal{M}_\Delta(\vec{T'})=J_\Delta.\ddot{\theta} \quad ①$$

$\mathcal{M}_\Delta(\vec{R'})=\mathcal{M}_\Delta(\vec{P'})=0$ لأن $\vec{R'}$ و $\vec{P'}$ يلاقيان المحور (Δ).

باعتبار المنحى الموجب لدوران الأسطوانة نكتب:

$\mathcal{M}_\Delta(\vec{T'})=+r.T'$ إذن تصبح العلاقة ① : $\mathcal{M}_C+T'.r=J_\Delta.\ddot{\theta}$

و بالتالي: $T'=\frac{J_\Delta.\ddot{\theta}-\mathcal{M}_C}{r}$

بما أن الخيط لاينزلق على مجرى البكرة فإن : S=rθ .

و بالتالي: $V=\dot{S}=r\dot{\theta}$ ومنه: $a=\dot{V}=r\ddot{\theta}$ أي: $\ddot{\theta}=\frac{a}{r}$

و باعتبار $J_\Delta=\frac{1}{2}m_Pr^2$ نجد: $T'=\frac{m_P.a}{2}-\frac{\mathcal{M}_C}{r}$

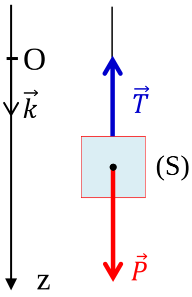
ب- دراسة حركة الجسم (S) :

المجموعة المدروسة : { الجسم (S) }

جرد القوى: يخضع الجسم (S) للقوى التالية:

$\vec{P}$: وزنه.

$\vec{T}$: توتر الخيط.



في معلم متعامد ممنظم نعتبره غاليليا نطبق القانون الثاني لنيوتن على الجسم (S) أثناء حركته فنكتب :

$$\vec{P}+\vec{T}=m_S.\overrightarrow{a_G}$$

نسقط هذه العلاقة على المحور [Oz) : $P_z+T_z=m.a_z$

$a_z=a_G=a$ ؛ لأن الحركة تتم وفق المحور [Oz) فقط.

نجد: $m_sg-T=m_sa$ أي: $T=m_Sg-mSa$

بما أن الخيط غير قابل للإمتداد فإنه إذن يحتفظ بنفس التوتر في جميع نقطه و بالتالي: T'=T .

أي: $$m_Sg-m_Sa=\frac{m_P.a}{2}-\frac{\mathcal{M}_C}{r}$$

و بالتالي: $a=\frac{m_Sg+\frac{\mathcal{M}_C}{r}}{m_S+\frac{m_P}{2}}$ تطبيق عددي: $a=4{,}05\ m.s^{-2}$

بما أن الخيط لا ينزلق على البكرة فإن : $\ddot{\theta}=\frac{a}{r}$

تطبيق عددي: $\ddot{\theta}=\frac{4{,}048}{0{,}1}=40{,}48\ rad.s^{-2}$

مجزوءة الفيزياء
الجزء الرابع : الميكانيك
الدورة الثانية
الغلاف الزمني : 10 h ساعة

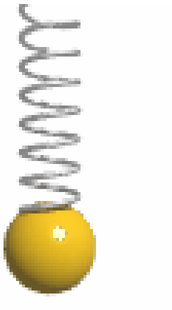
المستوى : 2 بكالوريا
الموسم الدراسي :
2013 - 2014

ثانوية الرازي التأهيلية
ترجيست – مديرية الحسيمة
مقر الفيزياء و الكيمياء

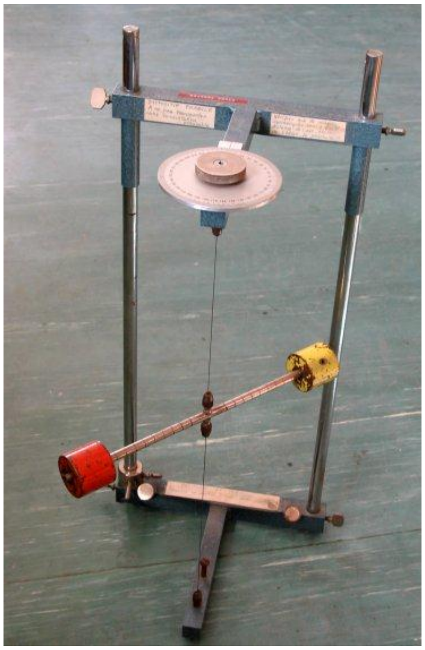
الوحدة
16
الفيزياء

الدرس
SM+SP+SVT

المجموعات الميكانيكية المتذبذبة
Systèmes mécaniques oscillants



OSCILLATION PENDULE SIMPLE
90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90



$$\ddot{x}+\frac{k}{m}x=0$$

$$\ddot{\theta}+\frac{C}{J_\Delta}\theta=0$$

$$\ddot{\theta}+\frac{mgd}{J_\Delta}\theta=0$$

$$\ddot{\theta}+\frac{g}{l}\theta=0$$

إعداد : ذ. ياسين الدراز

معارف و مهارات – المجموعات الميكانيكية المتذبذبة-

☐ معرفة الحركة التذبذبية .
☐ تعرف التذبذبات الحرة.
☐ تعرف خمود التذبذبات ومختلف أصنافه وأنظمته.
☐ معرفة أن الدور الخاص يقارب شبه الدور في حالة الخمود الضعيف (نظام شبه دوري).
☐ معرفة مميزات قوة الارتداد المطبقة من طرف نابض على جسم صلب في حركة.
☐ استغلال مخطط المسافات $x = f(t)$.
☐ تطبيق القانون الثاني لنيوتن لإثبات المعادلة التفاضلية لحركة المتذبذب (جسم صلب ــ نابض) في وضع أفقي أو رأسي أو مائل.
☐ تحديد طبيعة حركة المتذبذب وكتابة المعادلة الزمنية للحركة.
☐ معرفة مدلول المقادير الفيزيائية الواردة في تعبير المعادلة الزمنية للنواس المرن وتحديدها انطلاقا من الشروط البدئية.
☐ معرفة واستغلال تعبير الدور الخاص والتردد الخاص للمتذبذب (جسم صلب ــ نابض).
☐ تحديد صنفي الخمود (الصلب والمائع) انطلاقا من أشكال مخططات المسافات . $x=f(t)$

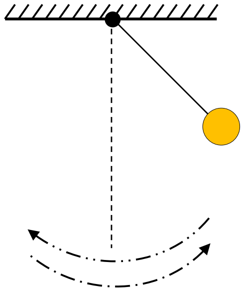
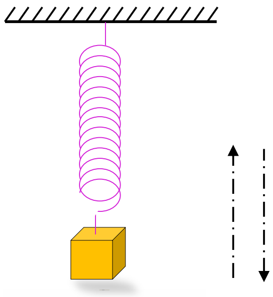
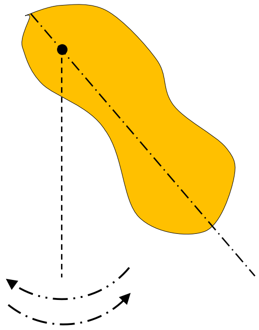
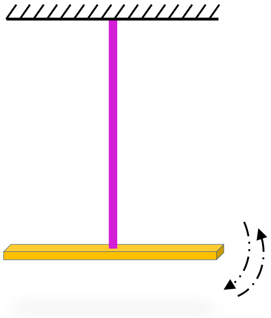
- معرفة تعبير مزدوجة الارتداد المطبقة من طرف سلك اللي على جسم صلب في حركة تذبذبية.
- تطبيق العلاقة الأساسية للديناميك في حالة الدوران لإثبات المعادلة التفاضلية لحركة نواس اللي في حالة الاحتكاكات المهملة.
- تحديد طبيعة حركة نواس اللي وكتابة المعادلة الزمنية للحركة.
- معرفة مدلول المقادير الفيزيائية الواردة في تعبير المعادلة الزمنية لنواس اللي وتحديدها انطلاقا من الشروط البدئية.
- معرفة واستغلال تعبير الدور الخاص والتردد الخاص لنواس اللي.
- استغلال المخطط $\theta=f(t)$ لتحديد المقادير المميزة لحركة النواس.
- تحديد صنفي الخمود (الصلب والمائع) انطلاقا من أشكال المخططات $\theta=f(t)$.
- تطبيق العلاقة الأساسية للديناميك في حالة الدوران لإثبات المعادلة التفاضلية لحركة النواس الوازن في حالة الاحتكاكات المهملة والتذبذبات الصغيرة.
- تحديد طبيعة حركة النواس الوازن وكتابة المعادلة الزمنية للحركة.
- معرفة مدلول المقادير الفيزيائية الواردة في تعبير المعادلة الزمنية للنواس الوازن وتحديدها انطلاقا من الشروط البدئية.
- معرفة واستغلال تعبير الدور الخاص والتردد الخاص للنواس الوازن في حالة التذبذبات الصغيرة.
- استغلال المخطط $\theta=f(t)$ لتحديد المقادير المميزة لحركة النواس الوازن في حالة التذبذبات الصغيرة.
- تعريف النواس البسيط المتواقت للنواس الوازن.
- معرفة تعبير الدور الخاص للنواس البسيط.
- تعرف المثير والرنان وظاهرة الرنين الميكانيكي وشروط حدوثها.
- تعرف تأثير الخمود على أنظمة الرنين.
- تطبيق القانون الثاني لنيوتن والعلاقة الأساسية للديناميك في حالة الدوران على مجموعة ميكانيكية متذبذبة مركبة من جسم في حالة إزاحة مستقيمية وآخر في حالة دوران حول محور ثابت وفي وضعيات مختلفة، لإثبات المعادلات التفاضلية ولتحديد مقادير حركية ومقادير تحريكية.

I المجموعات الميكانيكية المتذبذبة :

نقول أن جسما ما يُكَون متذبذبا ميكانيكيا إذا كان ينجز حركة تذبذبية أي حركة ذهاب و إياب حول موضع توازنه المستقر.

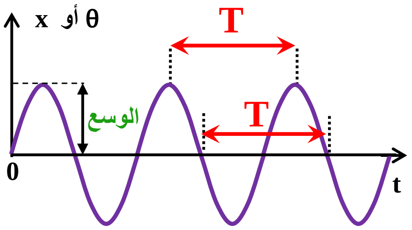
1- أمثلة لبعض المتذبذبات الميكانيكية :

- **النواس البسيط:** يتكون من جسم صلب نقطي كتلته m معلق بخيط غير قابل للإمتداد .
- **النواس المرن** أو **المجموعة جسم ص.- نابض:** يتكون من جسم صلب كتلته m، مرتبط بنابض ذي لفات غير متصلة و صلابته k.
- **النواس الوازن:** هو كل جسم صلب ، يمكنه أن يتذبذب حول محور (Δ) أفقي ثابت لا يمر بمركز قصوره.
- **نواس اللي:** يتكون من سلك فولاذي قابل للإلتواء (الفتل أو اللي)، مثبت من طرفه العلوي، و يحمل في طرفه السفلي قضيبا متجانسا معلق من مركز قصوره.

			
النواس البسيط	**النواس المرن**	**النواس الوازن**	**نواس اللي**

2- مميزات الحركة التذبذبية:

- **موضع التوازن المستقر:** هو الموضع الذي إذا زحزح عنه المتذبذب يعود إليه ليستقر فيه.
- **وسع الحركة:** هو القيمة القصوى الموجبة التي يأخذها المقدار المعبر عن مدى ابتعاد أو انحراف المتذبذب عن موضع توازنه المستقر.
- **الدور الخاص T_0 و التردد الخاص f_0:** الدور الخاص هو المدة الزمنية اللازمة لإنجاز ذبذبة واحدة – أما التردد الخاص فهو عدد الذبذبات المنجزة في الثانية : $T_0 = \frac{1}{f_0}$



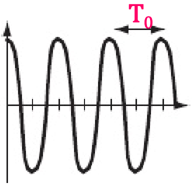
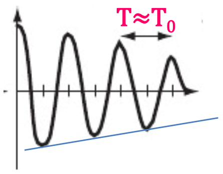
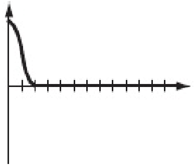
3- خمود الذبذبات الميكانيكية *amortissement des vibrations mécaniques*:

أ- تعريف :

عند إزاحة متذبذب ميكانيكي عن موضع توازنه المستقر و تحريره ، نلاحظ أن وسع التذبذبات يتناقص إلى أن يتوقف المتذبذب عن الحركة . تسمى هذه الظاهرة بـظاهرة الخمود.

- تحدث ظاهرة الخمود بسبب الإحتكاكات التي يمكن تصنيفها إلى صنفين:
  - **احتكاكات مائعة**، تحدث عند تماس المتذبذب مع جسم مائع (سائل كالماء أو غاز كالهواء).
  - **احتكاكات صلبة**، تحدث عند تماس المتذبذب مع جسم صلب . في هذه الحالة يتناقص الوسع خطيا. و يكون $T=T_0$

ب- أنظمة خمود الذبذبات:

 T_0	 $T \approx T_0$	
نظام دوري: الوسع يبقى ثابت (حالة مثالية لا وجود لها في الواقع)	**نظام شبه دوري**: حالة الخمود الضعيف، شبه الدور T يساوي تقريبا الدور الخاص T_0 (احتكاكات صلبة)	**نظام لا دوري (حرج)** : لا وجود لأية ذبذبة (حالة الخمود الحاد)

II دراسة مجموعات ميكانيكية متذبذبة :

1- النواس المرن أو المجموعة {جسم صلب - نابض} *pendule elastique*:

الدراسة التجريبية: محاكاة فلاش animatin flash ++ :

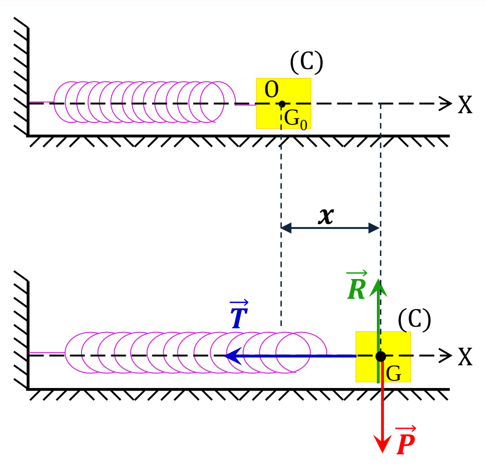
فوق نضد هوائي أفقي نربط أحد طرفي نابض إلى حامل، و الطرف الثاني إلى خيال كتلته m . نعتبر كتلة النابض مهملة أمام كتلة الخيال. بإزاحتنا الخيال عن موضع توازنه المستقر و تحريره ، ينجز حركة ذهاب و إياب مستقيمية تذبذبية . في كل مرة نغير قيم m كتلة الخيال و k صلابة النابض فنلاحظ:

⇐ عندما يكون k ثابتا (نحتفظ بنفس النابض و نغير الكتلة) يكبر دور التذبذبات T عندما تكبر الكتلة m .

⇐ عندما تكون m ثابتة (نحتفظ بنفس الكتلة و نغير النابض) يكبر دور التذبذبات T عندما تصغر صلابة النابض k .

الدراسة النظرية:

أ- المعادلة التفاضلية:



المجموعة المدروسة: { الخيال (C) }.

جرد القوى : يخضع الخيال خلال حركته إلى القوى التالية:

$\vec{P}$: وزنه.

$\vec{R}$: تأثير النضد الهوائي (عمودية على سطح التماس لأن الإحتكاكات مهملة).

$\vec{T}$: قوة الإرتداد ، و هي المقرونة بتوتر النابض $\vec{T} = -k.x\,\vec{i}$.

(تسعى دائما إلى رد الجسم الصلب إلى موضع توازنه المستقر G_0).

في معلم R(O,x,y,z) مرتبط بمرجع أرضي نعتبره غاليليا ، نطبق القانون الثاني لنيوتن على الخيال اثناء حركته ، نكتب:

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} = m.\vec{a_G}$$

نسقط العلاقة على المحور [Ox] : $0 + 0 - k.x = m.a_x$

أي : $m.a_x + k.x = 0$ نكتبها على شكل : $a_x + \frac{k}{m}.x = 0$

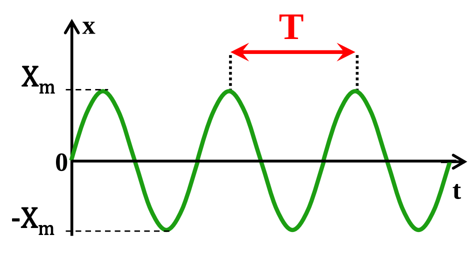
و بما أن : $a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x}$ فإن المعادلة السابقة تصبح: $\ddot{x} + \frac{k}{m}.x = 0$ و هي المعادلة التفاضلية للحركة.

مع: k صلابة النابض و m كتلة الجسم.

ب- المعادلة الزمنية للحركة:

يكتب حل المعادلة التفاضلية $\ddot{x} + \frac{k}{m}.x = 0$ في الرياضيات على شكل: $x(t) = X_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$

و هي المعادلة الزمنية للحركة. حيث:



x(t) : الإستطالة وهي مقدار جبري، $-X_m \le x(t) \le X_m$ و يعبر عنها بالمتر m.

X_m : وسع الحركة، و هي القيمة القصوى للإستطالة ، وحدته المتر m .

$\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$: الطور الخاص للحركة عند اللحظة t .

T_0 : الدور الخاص للحركة ، وحدته الثانية s .

φ : الطور عند اللحظة t=0 ، وحدته الراديان rad ونختار : $-\pi \le \varphi \le \pi$

ج- تعبير الدور الخاص T_0 للحركة :

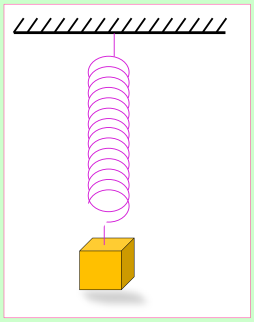
لدينا: $x(t) = X_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$ إذن : $\dot{x} = -\frac{2\pi}{T_0}X_m \sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$

و بالتالي: $\ddot{x} = \frac{d}{dt}(\dot{x}) = \frac{d}{dt}\left(-\frac{2\pi}{T_0}X_m \sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)\right) = -X_m.\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$

و منه : $\ddot{x} = -\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 x$. نعوض $\ddot{x}$ بتعبيره في المعادلة التفاضلية فنجد: $-\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 + \frac{k}{m} = 0$ أي: $\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 = \frac{k}{m}$

و منه: $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ وبالتالي تعبير التردد الخاص f_0 هو: $f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$

تمرين تطبيقي 1



نعتبر نواسا مرنا رأسيا مكون من نابض لفاته غير متصلة و صلابته K=20 N/m و جسم صلب (S) كتلته m=200 g . نزيح الجسم (S) رأسيا نحو الأسفل عن موضع توازنه بـ 3 cm ثم نحرره بدون سرعة بدئية.

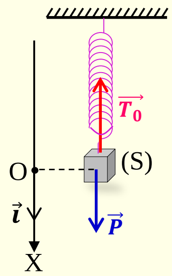
نعتبر معلما $(O,\vec{i})$ رأسيا و موجها نحو الأسفل أصله O منطبق مع مركز قصور الجسم (S) عند التوازن.

عند اللحظة t=0 يمر الجسم من موضع توازنه المستقر G_0 في المنحى الموجب.

1. أوجد إطالة النابض $\Delta\ell_0$ عند التوازن.
2. أوجد المعادلة التفاضلية للحركة.
3. أوجد المعادلة الزمني للحركة.
4. أحسب الدور الخاص و التردد الخاص لحركة هذا المتذبذب.

نعطي : g=10 N/kg .

-1 إطالة النابض Δl_0 عند التوازن:



يخضع الجسم (S) إلى: وزنه $\vec{P}$

توتر النابض : $\vec{T_0}$

عند التوازن يكون لدينا: $\vec{P}+\vec{T_0}=\vec{0}$

نسقط العلاقة على المحور [Ox): $P_x-T_{0x}=0$

و بما أن : $T_{0x}=k.\Delta l_0$ و $P=mg$

نجد : $mg=k.\Delta l_0$ و بالتالي: $\Delta l_0=\frac{mg}{k}$

تطبيق عددي: $\Delta l_0=0,1\,m=10\,cm$

-2 المعادلة التفاضلية للحركة:

في معلم غاليلي مرتبط بالأرض، نطبق القانون الثاني لنيوتن على الجسم (S) أثناء حركته و الذي يخضع لوزنه $\vec{P}$ و لقوة الإرتداد $\vec{T}$

نكتب : $\vec{P}+\vec{T}=m\vec{a_G}$ مع : $\vec{T}=-k(\Delta l_0+x).\vec{i}$

نسقط العلاقة على المحور [Ox) : $P_x-T_x=0$

أي : $mg-k(\Delta l_0+x)=ma_x=m\ddot{x}$ أي: $mg-k\Delta l_0-kx=m\ddot{x}$

وحسب شرط التوازن $mg=k.\Delta l_0$ نجد: $\ddot{x}+k/m.x=0$ CQFD

-3 المعدلة الزمنية للحركة:

حل المعادلة التفاضلية السابقة يكتب كما يلي:

$x(t)=X_m\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)$ حسب المعطيات $X_m=3\,cm$.

عند اللحظة t=0 لدينا x=0 إذن: $X_m\cos(\varphi)=0$ أي $\cos\varphi=0$

و بالتالي: $\varphi=\pm\frac{\pi}{2}$ يمر الجسم من موضع توازنه في المنحى الموجب في هذه اللحظة إذن $v>0$ و بما أن: $v=\dot{x}=\frac{dx}{dt}$ فإن:

$\dot{x}=-X_m\frac{2\pi}{T_0}\sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)$ ، عند t=0 لدينا: $v>0$ و منه:

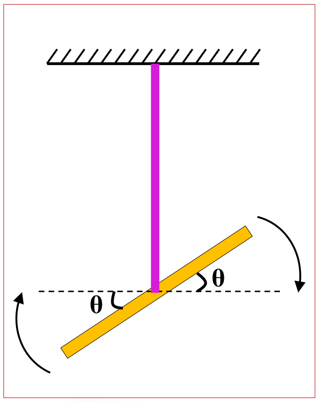
$\sin(\varphi)<0$ و بالتالي: $\varphi=-\frac{\pi}{2}$ إذن:

$$x(t)=0,03\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t-\frac{\pi}{2}\right)$$

-3 الدور الخاص و التردد الخاص:

- الدور الخاص T_0: $T_0=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}=2\pi\sqrt{\frac{0.2}{20}}=0.628\,s$
- التردد الخاص f_0: $f_0=\frac{1}{T_0}=\frac{1}{0,628}=1,59\,Hz$

-2 نواس اللي *pendule de torsion* : خاص بـ SM+SP



أ- عزم مزدوجة اللي:

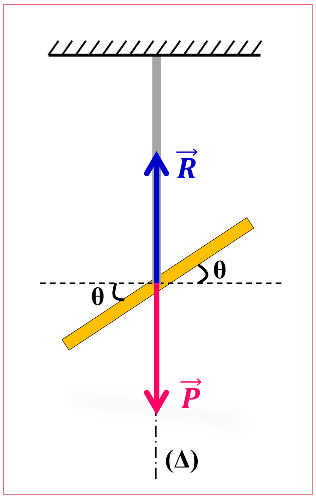
مزدوجة اللي تقاوم اِلتواء السلك ، فهي تسعى إذن إلى إرجاع السلك إلى وضعيته البدئية لذا يطلق عليها اسم مزدوجة الإرتداد.

عزم مزدوجة الإرتداد (مزدوجة اللي) مستقل عن المحور و نعبر عنه بالعلاقة التالية:

$\mathcal{M}_C=-C.\theta$ **بحيث:**

M_C : عزم مزدوجة اللي بـ N.m .
C : ثابتة لي السلك بـ $N.m.rad^{-1}$.
θ : زاوية اللي بـ rad .

ب- المعادلة التفاضلية:



ندرس، في معلم مرتبط بالأرض ، حركة العارضة التي عزم قصورها J_Δ بالنسبة للمحور (Δ) .

نعلم موضع العارضة، في كل لحظة، بأفصولها الزاوي θ الذي نقيسه بالنسبة لموضع التوازن .

جرد القوى: تخضع العارضة إلى :

- وزنها $\vec{P}$ ؛
- تأثير السلك $\vec{R}$ ؛
- مزدوجة اللي التي عزمها : $\mathcal{M}_C=-C.\theta$ ؛

نطبق على العارضة العلاقة الأساسية للتحريك (لأن العارضة في دوران حول محور ثابت):

$\sum\mathcal{M}_\Delta(\vec{F})=J_\Delta.\ddot{\theta}$ نحصل على: $\mathcal{M}_C+\mathcal{M}_\Delta(\vec{P})+\mathcal{M}_\Delta(\vec{R})=J_\Delta.\ddot{\theta}$

و بم أن اتجاه القوتين $\vec{P}$ و $\vec{R}$ منطبق مع المحور (Δ) فإن عزمهما منعدم بالنسبة لهذا المحور.

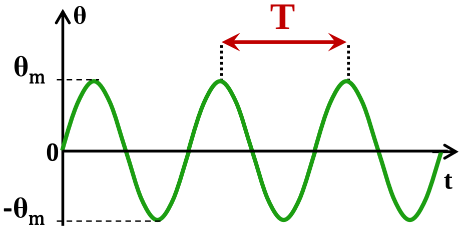
و بالتالي: $-C.\theta=J_\Delta.\ddot{\theta}$ و منه : $\ddot{\theta}+\frac{C}{J_\Delta}\theta=0$

و هي المعادلة التفاضلية لحركة العارضة.

ج- المعادلة الزمنية للحركة:

يكتب حل المعادلة التفاضلية $\ddot{\theta}+\frac{C}{J_\Delta}.\theta=0$ في الرياضيات على شكل: $\theta(t)=\theta_m\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)$

و هي المعادلة الزمنية للحركة. حيث:



$\theta(t)$: الأفصول الزاوي وهو مقدار جبري، $-\theta_m\le\theta(t)\le\theta_m$ و يعبر عنه بـ rad .

θ_m : وسع الحركة، و هي القيمة القصوى للزاوية θ .

T_0 : الدور الخاص للنواس ، وحدته الثانية s .

φ : الطور عند اللحظة t=0 ، وحدته الراديان rad ونختار : $-\pi\le\varphi\le\pi$

ج- تعبير الدور الخاص T_0 و التردد الخاص f_0 للحركة :

لدينا : $\theta(t)=\theta_m\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)$ إذن باتباع نفس الخطوات السابقة بالنسبة للنواس المرن نجد : $T_0=2\pi\sqrt{\frac{J_\Delta}{C}}$

⟸ نعلم أن : $f_0=\frac{1}{T_0}$ إذن: $f_0=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C}{J_\Delta}}$. نعرف كذلك النبض الخاص بالعلاقة : $\omega_0=2\pi f_0=\sqrt{\frac{C}{J_\Delta}}$

تمرين تطبيقي 2

ننجز نواس لي بتعليق قرص عزم قصوره بالنسب لمحور الدوران (Δ) هو : $J_\Delta=5.10^{-3}$ Kg.m^2 بطرف سلك فلزي رأسي ثبت طرفه الأخر في نقطة O . محورا السلك و القرص منطبقان. (السلك عمودي على القرص) .

ندير القرص حول محوره (Δ) و نحرره بدون سرعة بدئية عند اللحظة $t_0=0$.

المعادلة الزمنية لحركة القرص هي: $\theta(t)=\frac{5\pi}{100}\cos(2,38\pi.t)$.

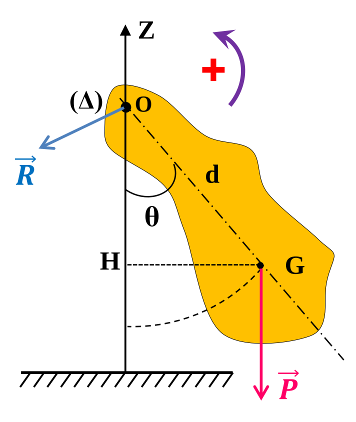
1. عين وسع و تردد الحركة .
2. أحسب C ثابتة لي السلك.

$\theta_m=0,157\ rad$

$T_0=0,84\ s$

$C=0,28\ N.m.rad^{-1}$

3- النواس الوازن *pendule pesant*: خاص بـ SM+SP



أ- المعادلة التفاضلية:

النواس الوازن عبارة عن جسم صلب (S) ذي كتلة m متحرك حول محور (Δ) .

ندرس، في معلم مرتبط بالأرض ، حركة النواس الذي عزم قصوره J_Δ بالنسبة للمحور (Δ) .

نُعَلِّم موضع الجسم (S)، في كل لحظة، بأفصوله الزاوي θ التي يكونها OG مع المحور [Oz).

جرد القوى: يخضع الجسم (S) خلال حركته إلى :
- وزنه: $\vec{P}$ ؛
- تأثير المحور (Δ): $\vec{R}$ ؛

نطبق على الجسم (S) العلاقة الأساسية للديناميك الخاصة بجسم صلب في دوران حول محور ثابت: $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P})+\mathcal{M}_\Delta(\vec{R})=J_\Delta.\ddot{\theta}$

بما أن اتجاه القوة $\vec{R}$ و يلاقي المحور (Δ) فإن : $\mathcal{M}_\Delta(\vec{R})=0$.

نضع: OG=d فنحصل على : $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P})=-P.HG=-mg.d.\sin\theta$

إذن تكتب العلاقة الأساسية للديناميك على شكل: $-mg.d.\sin\theta=J_\Delta.\ddot{\theta}$ و منه : $\ddot{\theta}+\frac{mgd}{J_\Delta}.\sin\theta=0$

« و هي المعادلة التفاضلية لحركة النواس »

في حالة الذبذبات الصغيرة θ≤15° أي θ≤0,26 rad نكتب بتقريب sinθ ≈ θ . و بالتالي تصير المعادلة التفاضلية للحركة:

$$\ddot{\theta}+\frac{mgd}{J_\Delta}.\theta=0$$

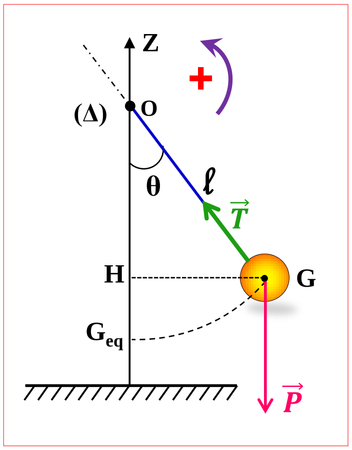
ب- المعادلة الزمنية للحركة:

بالمماثلة مع الدراسة السابق فإن حل المعادلة التفاضلية $\ddot{\theta}+\frac{mgd}{J_\Delta}.\theta=0$ هو : $\theta(t)=\theta_m\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)$

ج- تعبير الدور الخاص للحركة:

نعبر عن النبض الخاص بـ : $\omega_0=\sqrt{\frac{mgd}{J_\Delta}}$ و بما أن : $\omega_0=\frac{2\pi}{T_0}$ فإن: $T_0=2\pi\sqrt{\frac{J_\Delta}{mgd}}$

4- النواس البسيط *pendule simple*: خاص بـ SM+SP



أ- المعادلة التفاضلية:

النواس البسيط هو حالة خاصة و بسيطة للنواس الوازن.

عمليا ، نحقق نواسا بسيطا بتعليق كرية صغيرة ذات كثافة عالية بخيط غير مدود كتلته مهملة.

عزم قصور النواس البسيط بالنسب للمحور (Δ) هو : $J_\Delta=m\ell^2$.

بحيث m كتلة الكرية و ℓ طول النواس ℓ=OG .

في حالة الذبذبات الصغيرة نحصل على المعادلة : $\ddot{\theta}+\frac{mgl}{J_\Delta}.\theta=0$

و بما أن : $J_\Delta=m\ell^2$ فإن المعادلة أعلاه تصبح :

$$\ddot{\theta}+\frac{g}{l}.\theta=0$$ « وهي المعادلة التفاضلية لحركة النواس البسيط »

ب- المعادلة الزمنية للحركة:

بالمماثلة مع النواس الوازن، فإن المعادلة الزمنية لحرك النواس البسيط هي: $\theta(t)=\theta_m\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)$

ج- تعبير الدور الخاص للحركة:

من خلال المعادلة التفاضلية فإن النبض الخاص للحركة هو : $\omega_0=\sqrt{\frac{g}{l}}$ و بما أن : $\omega_0=\frac{2\pi}{T_0}$ فإن: $T_0=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

التحليل البعدي للدور T_0 : $[T_0]=\left[2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\right]=\left[\sqrt{\frac{L}{L.T^{-2}}}\right]=\sqrt{T^2}=T$ إذن للدور T_0 بعد زمن و بالتالي نعبر عنه بالثانية s .

التحقق التجريبي من العلاقة : $T_0=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

نعلق نواسا بسيطا طوله l=39 cm ثم نزيحه بزاوية θ=45° و نحرر. بواسطة ميقت نحسب المدة الزمنية اللازمة لإنجاز 20دورا ، أي 20T فنجد: t=25 s و بالتالي : T_{exp}=25/20=1,25 s . نظريا نحسب قيمة T بالعلاقة : $T_{th}=2\pi\sqrt{\frac{0,39}{9,81}}=1,252\ s$ نلاحظ أن $T_{exp}=T_{th}$.

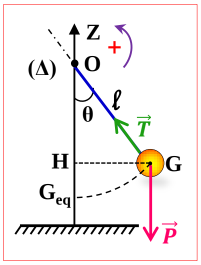
تمرين تطبيقي 3

لتحديد شدة الثقال g بدقة مقبولة ، يمكن استعمال ميقت و كرية من الرصاص و خيط غير مدود .

1. وضح في شكل مبسط، القوى المطبقة على الكرية.
2. أثبت المعادلة التفاضلية لحركة النواس.عزم قصور النواس بالنسبة للمحور (Δ) هو : $J_\Delta=m\ell^2$. نقبل أن: sin θ≈θ .
3. يكتب حل المعادلة التفاضلية على شكل ؛ $\theta(t)=\theta_m\cos(\frac{2\pi}{T}t+\varphi)$ ، بين أن : $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.
4. نقيس مدة 50 دورا للنواس السابق فنجد 122,9 s عندما يكون طول الخيط l=1,500 m .

1-4 أحسب قيمة g في مكان التجربة .

2-4 أحسب دور تذبذبات هذا النواس على سطح القمر علما أن شدة الثقالة على سطحه هي g'=1,63 m.s^{-2} .



1- تخضع الكرية خلال حركتها إلى القوى التالية : - وزنها : $\vec{P}$ ؛

- توتر الخيط: $\vec{T}$ ؛

أنظر الشكل.

2- المعادلة التفاضلية لحركة النواس.

نطبق على النواس العلاقة الأساسية للديناميك الخاصة بجسم صلب في حركة دوران حول محور ثابت : $\Sigma\mathcal{M}_\Delta(\vec{F})=J_\Delta.\ddot{\theta}$

أي : $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P})+\mathcal{M}_\Delta(\vec{T})=J_\Delta.\ddot{\theta}$

لدينا: $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P})=-P.HG=-mg.l.sin\theta$

و $\mathcal{M}_\Delta(\vec{T})=0$ لأن اتجاه القوة $\vec{T}$ يتقاطع مع المحور (Δ) .

و بالتالي تصبح ع.أ.د. ؛ $-mg.l.sin\theta=J_\Delta.\ddot{\theta}$

أي : $J_\Delta.\ddot{\theta}+mg.l.sin\theta=0$ و منه : $\ddot{\theta}+\frac{mgd}{J_\Delta}.sin\theta=0$

و بما أن : sin θ≈θ و $J_\Delta=m\ell^2$ فإن : $\ddot{\theta}+\frac{g}{l}.\theta=0$

و هي المعادلة التفاضلية لحركة النواس.

3- نحسب $\ddot{\theta}$ ثم نعوض في المعدلة التفاضلية للحركة. لدينا :

$$\dot{\theta}=-\frac{2\pi}{T}\theta_m\,sin(\frac{2\pi}{T}t+\varphi)\Leftarrow\theta=\theta_m\,cos(\frac{2\pi}{T}t+\varphi)$$

إذن: $\ddot{\theta}=-\frac{4\pi^2}{T^2}\theta_m\,cos(\frac{2\pi}{T}t+\varphi)=-\frac{4\pi^2}{T^2}.\theta$

نعوض في المعادلة 2 نجد: $-\frac{4\pi^2}{T^2}.\theta+\frac{g}{l}.\theta=0$

إذن: $\frac{4\pi^2}{T^2}=\frac{g}{l}$ و بالتالي: $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

1-4- حساب قيمة g : لدينا 50T=122,9 s إذن: T=2,485 s

و لدينا : $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ إذن : $T^2=4\pi^2\frac{l}{g}\Leftrightarrow g=\frac{4\pi^2.l}{T^2}$

تطبيق عددي : g=9,801m.s^{-2}

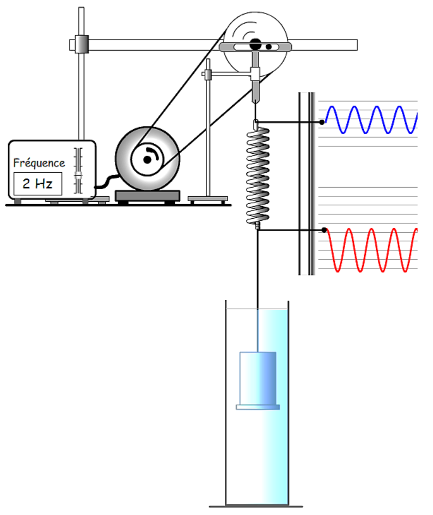
2-4 – على سطح القمر نجد : T=6,027 s .

III ظاهرة الرنين الميكانيكي phénomène de résonnance mécanique :

1- الذبذبات القسرية *vibrations forcées*:

تؤثر الإحتكاكات على التذبذبات الميكانيكية فتصبح حركتها مخمدة . و يمكن صيانتها (جعلها غير مخمدة) بتعويض الطاقة المبددة بكيفية تتناسب مع طبيعة المتذبذب . بحيث يتم ربط المتذبذب الميكانيكي بجهاز يمنحه الطاقة اللازمة لكي تصير حركته مصونة . هذا الجهاز يسمى **بالمثير** Excitateur ، و هو مجموعة ذات حركة تذبذبية تفرض دورها T_e على المجموعة المتذبذبة التي تسمى **بالرنان** résonateur و الذي تصبح تذبذباته قسرية.

2- الرنين الميكانيكي :



في التركيب جانبه ، يلعب النواس المرن دور الرنان تردده f_o بينما المحرك يلعب دور المثير تردده f_e.

يتم ربط المتذبذب الميكانيكي مع مع المحرك الذي يمنحه الطاقة اللازمة لكي تصير حركته مصونة ، وبذلك يصبح مجبرا على التذبذب بتردد يفرضه المحرك . عند تغيير تردد المحرك نحصل على أقصى وسع لتذبذبات الرنان عندما نضبط تردد المثير (المحرك) على قيمة تساوي التردد الخاص للرنان : $f_e=f_o$ نقول أن المجموعة في **حالة رنين** . الدور الخاص للرنان هو : $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$. و تردده هو $f_o=1/T_0$.

ملاحظة:

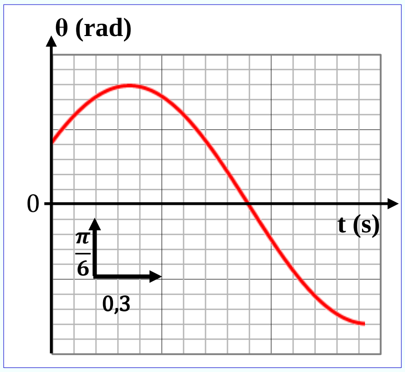
كلما كان الخمود ضعيفا كلما كانت ظاهرة الرنين بارزة فنحصل على الرنين الحاد الذي يتجلى في كون وسع التذبذبات القسرية يأخذ قيمة كبيرة عند الرنين .

في حالة الخمود القوي يكون الرنين ضبابيا بحيث يصبح و سع الذبذبا القسرية عند الرنين صغيرا.

تمرين موضوعاتي

BAC 98-99

الموضوع الأول:

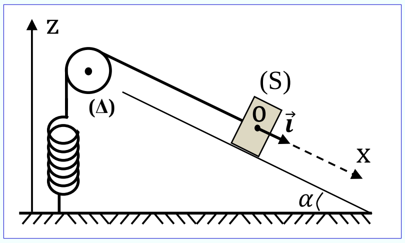


تتكون مجموعة (S) من سلك رأسي محوره (Δ) و ثابتة ليه $C=5{,}7.10^{-4}\,N.m.rad^{-1}$ ، و من ساق خشبية متجانسة طولها $l=12\ cm$ معلقة من مركز ثقلها G بأحد طرفي السلك.
عزم قصور الساق بالنسبة للمحور (Δ) الذي يمر من مركز ثقلها هو J_0.
ندير الساق [AB] أفقيا حول المحور (d) بزاوية θ_m انطلاقا من موضع التوازن ثم نحررها بدون سرعة بدئية، نمعلم موضع الساق في كل لحظة بافصولها الزاوي θ ونعتبر الإحتكاكات مهملة. تمثل الوثيقة جانبه تغيرات الأفصول الزاوي θ بدلالة الزمن t .

1. بتطبيق العلاقة الأساسية للديناميك، أثبت المعادلة التفاضلية لحركة النواس.
2. باستعمال الوثيقة حدد الثوابت T_0 و φ_0 و θ_m المميزة لحركة المجموعة .
3. استنتج المعادلة الزمنية لحركة المجموعة .
4. أوجد قيمة J_0 .

الموضوع الثاني:

نهمل جميع الإحتكاكات ونأخذ $g=10\ m.s^{-2}$. يتكون التركيب الممثل في الشكل أسفله من: بكرة متجانسة شعاعها $r=5\ cm$ قابلة للدوران حول محورها (Δ) الثابت و الأفقي ؛ من جسم صلب (S) كتلته $m=250\ g$ قابل للإنزلاق مستوى مائل بزاوية $\alpha=30°$ ؛ نابض رأسي لفاته غير متصلة و صلابته K و كتلته مهملة ؛ خيط غير مدود و كتلته مهملة ، يصل الجسم (S) بالطرف الحر للنابض و يمر في مجرى البكرة.
عند التوازن تكون إطالة النابض $\Delta l_0=2{,}5\ cm$ و يطابق مركز القصور G للجسم (S) اصل المعلم $(O,\vec{i})$ المرتبط بالأرض.
نعطي عزم قصور البكرة بالنسبة للمحور (Δ) : $J_\Delta=6{,}25.10^{-4}\,Kg.m^2$.
نعتبر أن الخيط لا ينزلق على مجرى البكرة.



1. أوجد K .
2. نزيح الجسم (S) عن موضع توازنه في منحى $\vec{i}$ بالمسافة $d=2cm$ ثم نحرره بدون سرعة بدئية في لحظة نعتبرها أصلا للتواريخ.
   - 1-2. بتطبيق العلاقة الأساسية للديناميك، أثبت المعادلة التفاضلية لحركة الجسم (S) .
   - 2-2. أوجد المعادلة الزمنية $x=f(t)$ لهذه الحركة.

الوحدة
17
الفيزياء

ثانوية الرازي التأهيلية
ترجيست – مديرية الحسيمة
مقرر الفيزياء و الكيمياء

المستوى : 2 بكالوريا
الموسم الدراسي :
2013 - 2014

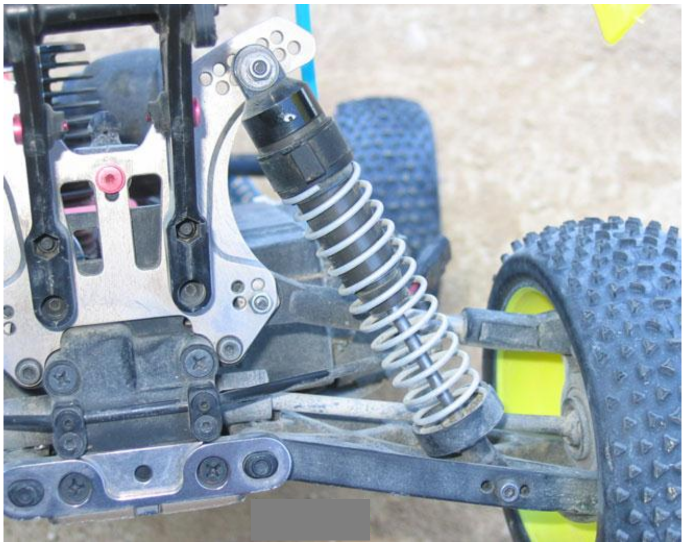
مجزوءة الفيزياء
الجزء الرابع : الميكانيك
الدورة الثانية
الغلاف الزمني : 7 h ساعات

الدرس

SM,SP,SVT

المظاهر الطاقية

Les Aspects énergétiques



$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{AB}$$

$$E_c = \frac{1}{2}mV^2$$

$$E_{Pe} = \frac{1}{2}kx^2$$

$$E_m = E_c + E_p$$

إعداد : ذ. ياسين الدراز

معارف و مهارات – المظاهر الطاقية –

- تحديد شغل قوة خارجية مطبقة من طرف نابض.
- معرفة واستغلال تعبير طاقة الوضع المرنة.
- معرفة واستغلال علاقة شغل قوة مطبقة من طرف نابض بتغير طاقة الوضع المرنة.
- معرفة واستغلال تعبير الطاقة الميكانيكية للمجموعة (جسم صلب ـ نابض).
- استغلال انحفاظ وعدم انحفاظ الطاقة الميكانيكية للمجموعة (جسم صلب ـ نابض).
- استغلال مخططات الطاقة.
- تحديد شغل مزدوجة اللي.
- معرفة واستغلال تعبير طاقة الوضع للي.
- معرفة واستغلال علاقة شغل مزدوجة اللي بتغير طاقة الوضع للي.
- معرفة واستغلال تعبير الطاقة الميكانيكية لنواس اللي.
- استغلال انحفاظ وعدم انحفاظ الطاقة الميكانيكية لنواس اللي.
- استغلال مخططات الطاقة.
- استغلال تعبير طاقة الوضع الثقالية والطاقة الحركية لتحديد الطاقة الميكانيكية للنواس الوازن في حالة التذبذبات الصغيرة.
- استغلال انحفاظ الطاقة الميكانيكية للنواس الوازن في حالة التذبذبات الصغيرة.

I شغل قوة :travail d’une force

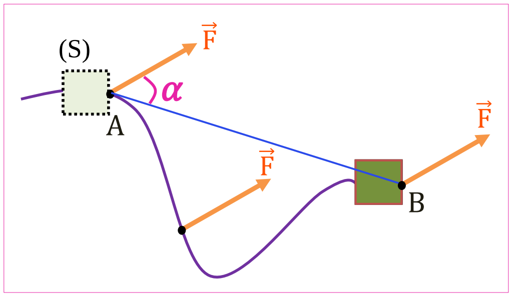
1- شغل قوة ثابتة :travail d’une force constante

شغل قوة ثابتة لا يتعلق بشكل المسار الذي تسلكه نقطة تأثير هذه القوة و إنما يتعلق فقط بنقطتي البداية و النهاية.

شغل القوة $\vec{F}$ عند انتقال نقطة تأثيرها من A إلى B هو:

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F}.\overrightarrow{AB} = F.AB.\cos\alpha$$

α هي الزاوية المحصورة بين $\vec{F}$ و $\overrightarrow{AB}$.



2- شغل قوة غير ثابتة :travail d’une force constante

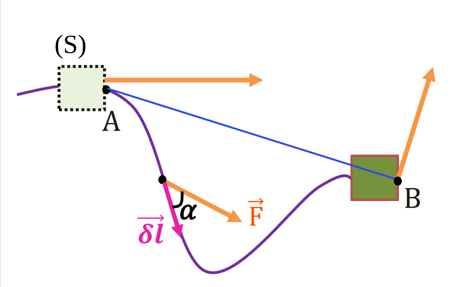
أ- الشغل الجزئي :

نعبر عن الشغل الجزئي لقوة $\vec{F}$ خلال انتقال جزئي $\vec{\delta l}$ بالعلاقة :

$$\delta W(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{\delta l} = F.\delta l.\cos\alpha$$

ب- الشغل الكلي :

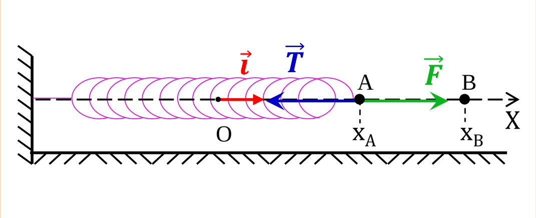
الشغل الكلي هو مجموع الأشغال الجزئية: $W(\vec{F}) = \Sigma_{A\to B}\vec{F}.\vec{\delta l}$



ملاحظة: عندما يكون الإنتقال $\vec{\delta l}$ متناهيا في الصغر، نعوض المجموع المتقطع Σ بالمجموع المتواصل $\int$ و بذلك نعوض δl بـ dl . في هذه الشروط نكتب : $W(\vec{F}) = \int_A^B \vec{F}.\vec{dl}$

3- شغل القوة الخارجية المطبقة من طرف نابض:

أ- الطريقة التحليلية:



لنحسب شغل القوة $\vec{F}$ (توتر النابض) المطبقة من طرف مجرِّب على نابض أفقي خلال انتقال نقطة تاثير القوة $\vec{F}$ من A إلى B .

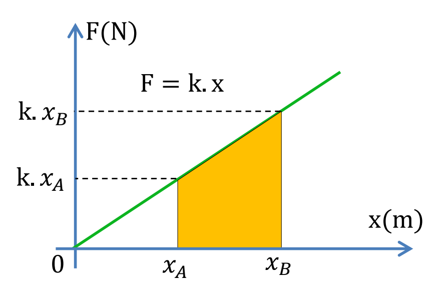
نعلم أن : $\vec{T} = -k.x.\vec{i}$ و لدينا : $\vec{F} = -\vec{T}$

إذن: $\vec{F} = +k.x.\vec{i}$ و $\overrightarrow{dl} = dx.\vec{i}$

و منه : $W_{A\to B}(\vec{F}) = \int_A^B \vec{F}.\overrightarrow{dl} = \int_A^B (k.x.\vec{i}).dx\vec{i}$

و بالتالي: $W_{A\to B}(\vec{F}) = \int_A^B (k.x.dx).(\vec{i}.\vec{i}) = \int_A^B (k.x.dx) = \left[\frac{1}{2}.k.x^2\right]_A^B = \frac{1}{2}.k(x_B^2 - x_A^2)$

ب- الطريقة التحليلية:



حسب تعريف التكامل ، فالشغل إذن، هو مساحة الحيز المحدود بالمنحنى F=k.x و محور الأفاصيل بحيث : $x_A \le x \le x_B$.

وبالتالي : $W_{A\to B}(\vec{F}) =$ مساحة المثلث الكبير – مساحة المثلث الصغير

نجد نفس النتيجة. $= \frac{1}{2}.kx_B^2 - \frac{1}{2}.kx_A^2$

تطبيق

أحسب الطاقة التي يجب منحها لنابض لتكبيسه (تقليصله) بـ 10 cm انطلاقا من موضع توازنه ، علما أن صلابة النابض هي: $k=1000\ N.m^{-1}$.

الحل: الشغل الذي يجب منحه يساوي شغل القوة المطبقة لتكبيس النابض. في هذه الحالة: $x_A=0\ m$ و $x_B=-0,1\ m$

$$W_{A\to B}(\vec{F}) = \int_A^B k.x.dx = \frac{1}{2}.kx_B^2 - \frac{1}{2}kx_A^2 = \frac{1}{2}\times 1000 \times (-0,1)^2 = 5\ J$$

II الدراسة الطاقية للنواس المرن الأفقي:

1- الطاقة الحركية للمجموعة {جسم صلب ، نابض} :énergie cinétique

الطاقة الحركية لجسم صلب كتلته m و سرعته V في إزاحة بالنسبة لمرجع معين هي: $\mathbf{E_c = \frac{1}{2}mV^2}$ ‎.E_C بالجول.

بالنسبة للنواس المرن ؛ $\mathbf{E_c = \frac{1}{2}m\dot{x}^2}$ مع $x(t) = X_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$ و: $\dot{x} = -X_m \frac{2\pi}{T_0} \sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$

2- طاقة الوضع المرنة للمجموعة {جسم صلب ، نابض} :énrgie potentielle élastique

طاقة الوضع المرنة للنواس المرن هي الطاقة التي تمتلكها المجموعة من جراء تشويه النابض و نعبر عنها بالعلاقة التالية:

$\mathbf{E_{pe} = \frac{1}{2}kx^2 + cte}$. حيث k صلابة النابض و x إطالته عند لحظة معينة. وحدة E_{pe} هي الجول J .

cte ثابتة تحدد باستعمال الحالة المرجعية $E_{pe}=0$. و غالبا ما نأخذ cte=0 عندما يكون النابض غير مشوه حيث x=0 .

في هذه الحالة يأخذ تعبير طاقة الوضع المرنة الشكل : $\mathbf{E_{pe} = \frac{1}{2}kx^2}$ مع $x(t) = X_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$

3- الطاقة الميكانيكية للمجموعة {جسم صلب ، نابض} :énrgie mécanique

الطاقة الميكانيكية لمجموعة تتكون من جسم صلب و نابض هي مجموع الطاقة الحركية و طاقة الوضع المرنة:

$\mathbf{E_m = E_c + E_{pe} = \frac{1}{2}m.\dot{x}^2 + \frac{1}{2}k.x^2 + cte}$ في حالة cte=0 نكتب : $E_m = \frac{1}{2}m\dot{x}^2 + \frac{1}{2}kx^2$

4- نتائج تعبير الطاقة الميكانيكية للنواس المرن الأفقي :

أ- حالة الإحتكاكات المهملة:

في حالة الإحتكاكات المهملة يبقى الوسع X_{max} ثابتا . و يكون النظام دوريا. و بالتالي تتحفظ الطاقة الميكانيكية للمجموعة. أي $E_m=cte$.

لينا: $E_m = \frac{1}{2}m\dot{x}^2 + \frac{1}{2}kx^2$: x=0 ⟸ $E_m = \frac{1}{2}mV_m^2$

x=X_m ⟸ $E_m = \frac{1}{2}kX_m^2$

إذن : $E_m = \frac{1}{2}mV_m^2 = \frac{1}{2}kX_m^2 \Longrightarrow \mathbf{V_m = X_m\sqrt{\frac{k}{m}}}$

من جهة أخرى : بما أن $E_m=cte$ فإن : $\frac{dE_m}{dt} = 0$

يعني أن : $\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}m\dot{x}^2 + \frac{1}{2}kx^2\right) = 0$ نجد : $m.\dot{x}.\ddot{x} + k.x.\dot{x} = 0$

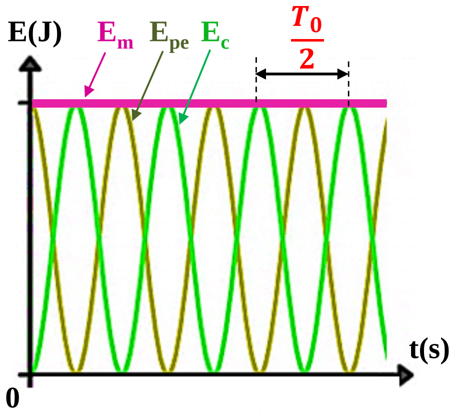
أي: $\mathbf{\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0}$ و هي المعادلة التفاضلية للحركة.

« في غياب الإحتكاكات تتحفظ الطاقة الميكانيكية لنواس مرن أفقي حر»

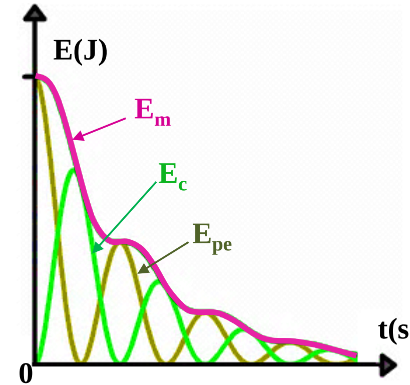
باشتقاق تعبير الطاقة الميكانيكية نحصل على المعادلة التفاضلية للحركة

ب- حالة الإحتكاكات غير المهملة:

في هذه الحالة يتناقص و سع التذبذبات و بالتالي تتناقص الطاقة الميكينيكية مع مرور الزمن بفعل الإنتقال الحراري الناتج عن الإحتكاك.



تغيرات الطاقة في غياب الإحتكاك



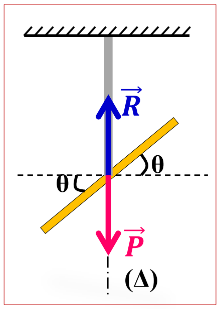
تغيرات الطاقة بوجود الإحتكاك

III الدراسة الطاقية لنواس اللي:

1- الطاقة الحركي للمجموعة {عارضة، سلك اللي} :énergie cinétique de l'ensemble

تنحصر الطاقة الحركية لنواس اللي في الطاقة الحركية للعارضة و نكتب: $E_c = \frac{1}{2}J_\Delta\dot{\theta}^2$ بحيث ، J_Δ عزم قصور للعارضة بالنسب للمحور (Δ). و$\dot{\theta}$ سرعته الزاوية. مع $\dot{\theta} = -\theta_m \frac{2\pi}{T_0} sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$

2- طاقة الوضع للي للمجموعة {عارضة ، سلك اللي} :énrgie potentielle de torsion



نعبر عن الشغل الجزئي لمزدوجة اللي بالعلاقة: $\delta W = \mathcal{M}_T.\delta\theta$ و بما أن : $\mathcal{M}_T = -C.\theta$

فإن: $\delta W = -C\theta.\delta\theta$ و بالتالي : $W_{\theta_1\to\theta_2} = \int_{\theta_1}^{\theta_2} -C\theta.d\theta = \left[\frac{1}{2}C\theta^2\right]_{\theta_1}^{\theta_2} = \frac{1}{2}C\theta_1^2 - \frac{1}{2}C\theta_2^2$

حسب تغير الطاقة الحركية لدينا: $\Delta E_{c\ \theta_1\to\theta_2} = W(\vec{R}) + W(\vec{P}) + W(\vec{T}) = 0 + 0 + \frac{1}{2}\theta_1^2 - \frac{1}{2}C\theta_2^2$

نعبر عن طاقة الوضع للي للمجموعة ، بالعلاقة : $E_{pt} = \frac{1}{2}C\theta^2 + cte$

cte: ثابتة نحددها باستعمال الحالة المرجعية. و غالبا ما نأخذ $E_p=0$ عند $\theta=0$ فيكون حينذاك cte=0

3- الطاقة الميكانيكية للمجموعة {عارضة ، سلك اللي} :énergie mécanique

الطاقة الميكانيكية لمجموعة تتكون من قضيب و سلك لي ،هي مجموع الطاقة الحركية و طاقة الوضع للي:

$E_m = E_c + E_{pt} = \frac{1}{2}J_\Delta.\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}C.\theta^2 + cte$ في حالة cte=0 نكتب : $E_m = \frac{1}{2}J_\Delta.\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}C.\theta^2$

4- نتائج تعبير الطاقة الميكانيكة لنواس اللي: خاص بـ SP+SM

أ- حالة الإحتكاكات المهملة:

في حالة الإحتكاكات المهملة يبقى الوسع θ_{max} ثابتا . و يكون النظام دوريا.

و بالتاي تنحفظ الطاقة الميكانيكية للمجموعة. أي $E_m=cte$.

لينا: $E_m = \frac{1}{2}J_\Delta.\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}C.\theta^2$: $\theta=0 \Longleftarrow E_m = \frac{1}{2}J_\Delta\dot{\theta}_m^2$

$\theta=\theta_m \Longleftarrow E_m = \frac{1}{2}C\theta_m^2$

إذن : $E_m = \frac{1}{2}J_\Delta\dot{\theta}_m^2 = \frac{1}{2}C\theta_m^2 \Longrightarrow \dot{\theta}_m = \theta_m\sqrt{\frac{C}{J_\Delta}}$

من جهة أخرى : بما أن $E_m=cte$ فإن : $\frac{dE_m}{dt} = 0$

يعني أن : $\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}J_\Delta.\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}C.\theta^2\right) = 0$ نجد : $J_\Delta.\dot{\theta}.\ddot{\theta} + C.\theta.\dot{\theta} = 0$

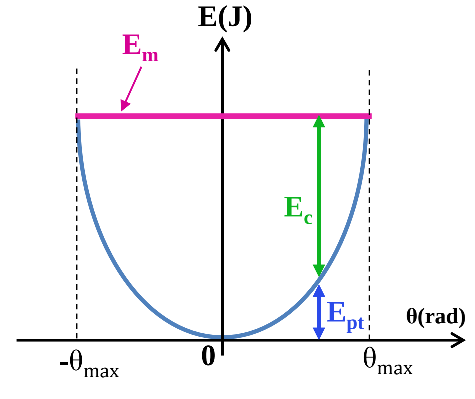
أي: $\ddot{\theta} + \frac{C}{J_\Delta}\theta = 0$ و هي المعادلة التفاضلية للحركة.

« في غياب الإحتكاكات تنحفظ الطاقة الميكانيكية لنواس اللي»

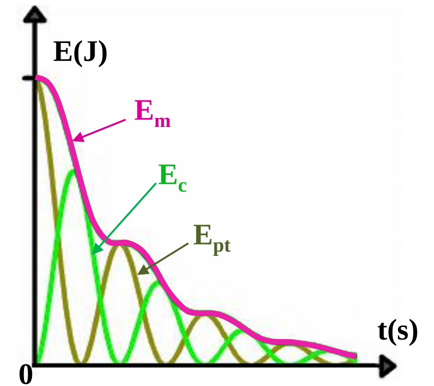
باشتقاق تعبير الطاقة الميكانيكية نحصل على المعادلة التفاضلية للحركة

ب- حالة الإحتكاكات غير المهملة:

بوجود الإحتكاكات تتناقص الطاقة الميكانيكية لنواس اللي بحيث تتحول إلى طاقة حرارية بسبب الإحتكاكات.



مخططات الطاقة



تغيرات الطاقة بوجود الإحتكاك

II الدراسة الطاقية للنواس الوازن: خاص بـ SP+SM

1- الطاقة الحركية للنواس الوازن:

في مرجع أرضي ، نعبر عن الطاقة الحركية لنواس وازن سرعته الزاوية $\dot{\theta}$ و عزم قصوره J_Δ بالنسبة لمحور ثابت (Δ). بالعلاقة : $\mathbf{E_c = \frac{1}{2}J_\Delta\dot{\theta}^2}$ E_c بالجول J .

2- طاقة الوضع الثقالية للنواس الوازن *énergie potentielle de pesanteur*:

نعبر عن طاقة الوضع الثقالية للمجموعة ، بالعلاقة : $E_{pp} = mgz + cte$

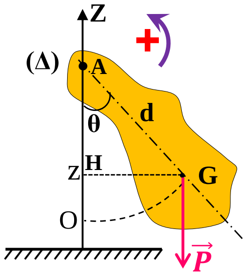
حيث **z** أنسوب مركز قصور الجسم في معلم R(O,x,y,z) مع اعتبار المحور [Oz] نحو الأعلى.

g : شدة مجال الثقالة ؛ $g=9{,}81 m.s^{-2}$.

Cte : ثابتة تتعلق بالحالة المرجعية . و غالبا ما نأخذ $E_{pp}=0$ عند $z=0$ فيكون آنذاك $cte=0$.

في الشكل جانبه: نأخذ $E_{pp}=0$ عند $z=0$ إذن: $cte=0$.

و بالتالي: $E_{pp} = mgz = mg(AO - AH) = mg(d - d.\cos\theta) = mgd(1 - \cos\theta)$



3- الطاقة الميكانيكية للنواس الوازن *énrgie mécanique*:

الطاقة الميكانيكية لنواس وازن في معلم مرتبط بمرجع أرضي هي مجموع الطاقتين الحركية و الوضع الثقالية لهذا النواس:

$$E_m = E_c + E_{pp} = \frac{1}{2}J_\Delta.\dot{\theta}^2 + mgh + cte$$

في حالة cte=0 نكتب :

$$E_m = \frac{1}{2}J_\Delta.\dot{\theta}^2 + mgh$$

4- نتائج تعبير الطاقة الميكانيكة للنواس الوازن:

أ- حالة الإحتكاكات المهملة:

في حالة الإحتكاكات المهملة يبقى الوسع θ_{max} ثابتا . و يكون النظام دوريا.

و بالتاي تنحفظ الطاقة الميكانيكية للمجموعة. أي $E_m=cte$.

بما أن: $E_m=cte$ فإن : $\frac{dE_m}{dt} = 0$

أي: $\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}J_\Delta.\dot{\theta}^2 + mgz\right) = 0$

يعني أن : $\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}J_\Delta.\dot{\theta}^2 + mgd(1 - \cos\theta)\right) = 0$

نجد: $J_\Delta.\dot{\theta}.\ddot{\theta} + mgd.\sin\theta.\dot{\theta} = 0$

في حالة الزوايا الصغيرة نكتب $\sin\theta \approx \theta$. و بالتالي نحصل على :

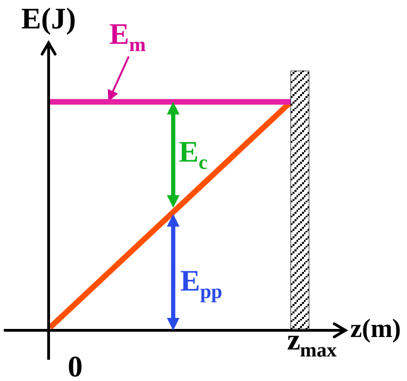
$\ddot{\theta} + \frac{mgd}{J_\Delta}\theta = 0$ و هي المعادلة التفاضلية للحركة.

« في غياب الإحتكاكات تنحفظ الطاقة الميكانيكية للنواس الوازن»

باشتقاق تعبير الطاقة الميكانيكية نحصل على المعادلة التفاضلية للحركة

ب- حالة الإحتكاكات غير المهملة:

بوجود الإحتكاكات تتناقص الطاقة الميكانيكية لنواس الوازن فيتحول جزء من الطاقة إلى طاقة حرارية بسبب الإحتكاكات.



$$\Delta E_c = -\Delta E_{pp}$$

« مخططات الطاقة »

ملاحظة:

في حالة الزوايا الصغيرة يمكن استعمال التقريب التالي:

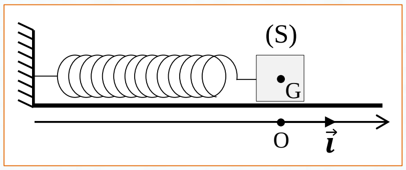
$$1 - \cos\theta = \frac{\theta^2}{2}$$

و بذلك يصبح تعبير طاقة الوضع الثقالية على شكل:

$$E_{pp} = \frac{1}{2}mgd\theta^2$$

تمرين موضوعاتي

الموضوع الأول: نهمل جميع الإحتكاكات و نأخذ $g=10\ m.s^{-2}$ و $\pi^2=10$.

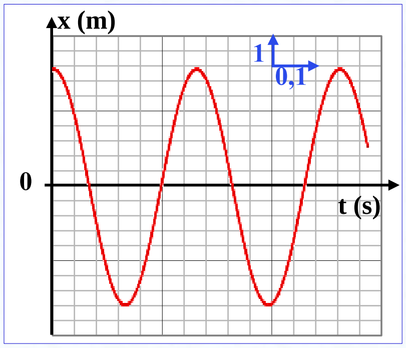


نربط جسما (S)، كتلته $m=182\ g$ ، بنابض لفاته غير متصلة و كتلته مهملة و صلابته K ، و نثبت الطرف الآخر للنابض بحامل ثابت (الشكل1). الجسم قابل للإنزلاق فوق مستوى أفقي .

نزيح الجسم عن موضع توزنه بالمسافة X_m ثم نحرره بدون سرعة بدئية.

لدراسة حركة مركز القصور G للجسم (S) نختار معلما غاليليا $(O,\vec{i})$حيث ينطبق موضع G عند التوازن مع الأصل O . نمعلم موضع G في لحظة t بالأفصول x في المعلم $(O,\vec{i})$.

1. بين أن المعادلة التفاضلية لحركة G تكتب كالتالي : $\ddot{x}+\frac{k}{m}x=0$. ويكون حلها هو ؛ $x(t)=X_m\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)$



2. مكنت الدراسة التجريبية لحركة G من الحصو عل المنحى الممثل في الشكل 2 .
   - 1.2- حدد باستغلال المنحنى المقادير التالية :
     الوسع X_m و الدور الخاص T_0 و الطور φ عند أصل التواريخ.
   - 2.2- استنتج قيمة الصلابة K للنابض.
3. نختار المستوى الأفقي الذي يشمل موضع G عند التوازن مرجعا لطاقة الوضع الثقالية و الحالة التي يكون فيها النابض غير مشوه مرجعا لطاقة الوضع المرنة.
   - 1.3- بين أن الطاقة الحركية للجسم (S) تكتب كما يلي: $E_c=\frac{K}{2}\left(X_m^2-x^2\right)$
   - 2.3- أوجد تعبير الطاقة الميكانيكية E_m للمجموعة { الجسم (S) ، نابض } بدلالة X_m و K، ثم استنتج السرعة V_G عند مرور G بموضع التوازن في المنحى الموجب.

الموضوع الثاني: نهمل جميع الإحتكاكات و نأخذ $g=10\ m.s^{-2}$ و $\pi^2=10$.

نثبت قرص من مركزه بسلك لي فولاذي ثابتة ليه $C=1,92.10^{-2}\ N.m.rad^{-1}$ و نثبت الطرف الآخر للسلك بحامل ، فنحصل على نواس لي.
عزم قصور النواس بالنسبة لمحور الدوران (Δ) هو J_Δ . ندير القرص أفقيا حول المحور (Δ) في المنحى الموجب بالزاوية $\theta_m=\pi/6\ rad$ انطلاقا من موضع التوازن $\theta=0$ ثم نحرره بدون سرعة بدئية عند لحظة نختارها اصلا للتواريخ $t=0$ ، فينجز حركة تذبذبية جيبية دورها الخاص $T_0=1\ s$.

1. اعتمادا على الدراسة الطاقية، أوجد المعادلة التفاضلية لحركة النواس. نأخذ موضع التوازن حيث يكون السلك غير ملتو مرجعا لطاقة الوضع للي $E_{PT}=0$.
2. استنتج عزم القصور J_Δ .
3. أوجد القيمة الجبرية للتسارع الزاوي $\ddot{\theta}$ عند مرور القرص من الموضع الذي تتحقق عنده العلاقة $E_C=3.E_P$ حيث E_C الطاقة الحركية للقرص.

الوحدة 18 الفيزياء

ثانوية الرازي التأهيلية
ترجيست – مديرية الحسيمة
مقر الفيزياء و الكيمياء

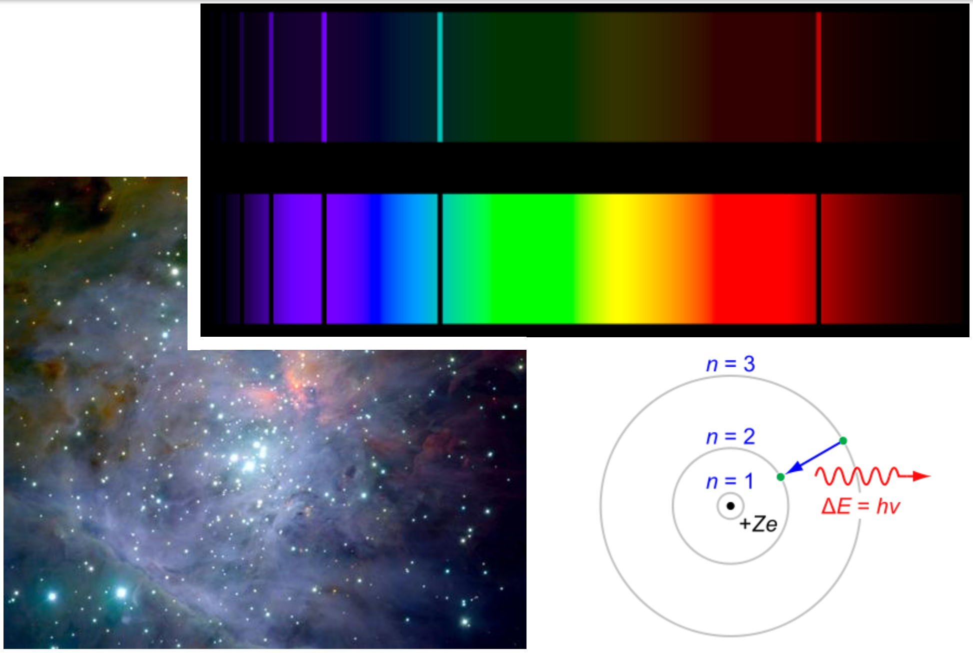
المستوى : 2 بكالوريا
الموسم الدراسي :
2012 - 2013

مجزوءة الفيزياء
الجزء الرابع : الميكانيك
الدورة الثانية
الغلاف الزمني : 5 h ساعات

الدرس
SP+SM

الذرة و ميكانيك نيوتن

L'atome et la mécanique de Newton



$$E = h.\nu = h.\frac{c}{\lambda}$$

$$\Delta E = E_p - E_n$$

$$E_p - E_n = h.\nu$$

$$\Delta E = -E_0\left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2}$$

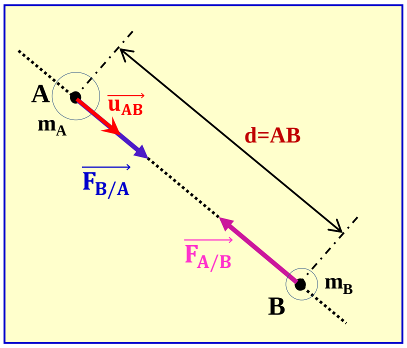
إعداد : ذ. ياسين الدراز

معارف و مهارات – الذرة و ميكانيك نيوتن –

- معرفة تعبيري قوة التأثير البيني التجاذبي، وقوة التأثير البيني الكهرساكن.
- تعرف أن طاقة الذرة مكماة.
- معرفة أن ميكانيك نيوتن لا تمكن من تفسير تكمية طاقة الذرة.
- معرفة واستغلال العلاقة: $\Delta E = h.\nu = h.c/\lambda$
- تفسير طيف الحزات.

I حدود ميكانيك نيوتن :Limites de la mécanique de Newton

1- قانون نيوتن و قانون كولوم :Loi de Newton et loi de Coulomb



A
m_A
$\overrightarrow{u_{AB}}$
d=AB
$\overrightarrow{F_{B/A}}$
$\overrightarrow{F_{A/B}}$
m_B
B

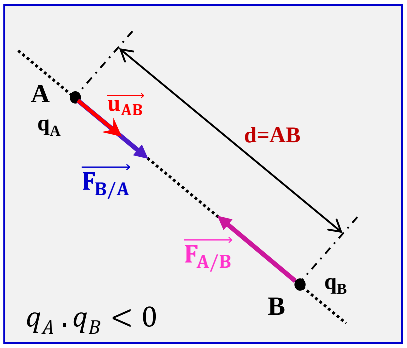
قانون نيوتن:

كل جسمين ماديين A و B كتلتاهما m_A و m_B و تفصل بينهما المسافة **d=AB** يطبق أحدهما على الآخر قوة تجاذب عن بعد تسمى **قوة التجاذب الكوني.** يعبر عنها بـــ:

$$\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}} = -G\frac{m_A.m_B}{d^2}\overrightarrow{u_{AB}}$$

G : ثابتة التجاذب الكوني؛ قيمتها $G=6,67.10^{-11}\ m^3Kg^{-1}s^{-2}$

$\overrightarrow{u_{AB}}$: متجهة واحدية موجهة من A نحو B .



A
q_A
$\overrightarrow{u_{AB}}$
d=AB
$\overrightarrow{F_{B/A}}$
$\overrightarrow{F_{A/B}}$
q_B
B
$q_A . q_B < 0$

قانون كولوم:

جسمان نقطيان A و B شحنتاهما q_A و q_B و تفصل بينهما المسافة **d=AB** يطبق أحدهما على الآخر **قوة تجاذب أو تنافر** عن بعد، منحاها يتعلق بإشارتي q_A و q_B .

$$\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}} = -k\frac{q_A.q_B}{d^2}\overrightarrow{u_{AB}}$$

$k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.10^9 N.m^2.C^{-2}$

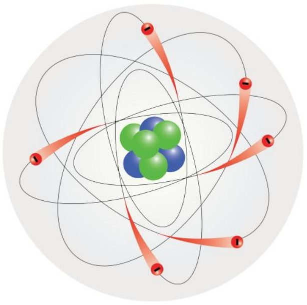
و تسمى ε_0 بثابتة العزل في الفراغ.

في حالة ذرة الهيدروجين لدينا:

$$\frac{F_g}{F_e} = \frac{G.m_e.m_p}{|(-e).e| \times 9.10^9} = \frac{6,67.10^{-11} \times 1,67.10^{-27} \times 9,1.10^{-31}}{|(-1,6.10^{-19}).1,6.10^{-19}| \times 9.10^9} = 4,4.10^{-40}$$

يتبن من هذا الحساب أن التأثير البيني التجاذبي في الذرة مهمل أمال التأثير البيني الكهرساكن.

2- النموذج الكوكبي للذرة :modèle planétaire de l'atome



بالمماثلة مع قوى التـأثيرات التجاذبية الكونية التـي تحكم حركة الكواكب و قوى التـأثيرات الكهرسـاكنة التـي تحكـم حركـة الإلكترونـات حـول النـواة ، اقتـح العـالم الفيزيـائي إيرنسـت رذرفورد (Ernest Rutherford) فـي مطلـع القرن العشـرين نموذجـا كوكبيـا للـذرة حيـث تلعـب فيـه النـواة دورا شـبيها بالكوكـب ، و تلعـب الإلكترونات في مداراتها دورا شبيها بأقمار هذا الكوكب.

3- حدود ميكانيك نيوتن :Limites de la mécanique de Newton

رغم التشابه بين التأثير البيني التجاذبي و التأثير البيني الكهرساكن إلا أنه في الحقيقة هناك اختلاف ما بين النظامين الكوكبي والذري .

حيث إن : للقمر الاصطناعي جميع الإرتفاعات والسرعات محتملة أي **جميع المدارات محتملة،** و بالتالي فطاقته تتغير بصورة **مستمرة** . بينما ذرات عنصر ما أو نظائرها لها نفس الشعاع ؛ و بصفة عامة نفس المميزات ، حيث الالكترونات تدور وفق **مدارات محددة** و طاقتها تتغير بصورة **مكممة** و هذا مع عجز عن تفسيره العالم رذرفورد .

و منه فقوانين نيوتن لا تصلح في النظام الذري ، فظهرت ميكانيك الكم Mécanique quantique .

توضيح:

بالنسبة لذرة الهيدروجين ، لو كانت المجموعة { إلكتون ، بروتون} تخضع لقوانين نيوتن لكان بإمكان شعاع الإلكترون أن يأخذ جميع القيم الممكنة و بالتالي الحصول على ذرات هيدروجين بأحجام مختلفة . و هذا غير صحيح لأن جميع ذرات الهيدروجين لها نفس الشعاع و نفس المميزات بصفة عامة.

نتيجة: ميكانيك نيوتن تبقى عاجزة عن تفسير الظواهر التي تحدث على مستوى الذرات. ومن بينها مستويات الطاقة

II تكمية التبادلات الطاقية Quantification des échanges énergetiques:

1- مفهوم تكمية الطاقة Concept de la quantification d'énergie:

عند **إثارة** ذرة بالتفريغ الكهربائي (أي إخضاعها لتوتر جد مرتفع)، أو بقذفها بدقائق مادية مسرعة مثل الإلكترونات ، أو عندما يحدث تأثير بيني بينها و بين إشعاع ضوئي ؛ **يحدث تبادل للطاقة بين الذرة و الوسط الخارجي**. ولا يمكن لهذه الطاقة المتبادلة أن تأخذ سوى قيما محددة و منفصلة ، نقول أنها **مكماة** .

2- الفوتون Le photon :

لتفسير ظاهرة المفعول الكهرضوئي – انتزاع إلكترونات فلز بواسطة إشعاع ضوئي ملائم – اعتبر ألبرت انشتاين Albert Einstein أن الحزمة الضوئية ذات التردد ν تتكون من دقائق عديمة الشحنة و عديمة الكتلة تنتشر في الفراغ بسرعة الضوء تسمى بالفوتونات .

و طاقة كل فوتون هي:

$$E = h.\nu = h.\frac{c}{\lambda}$$

E بالجول J. بحيث:

h : ثابتة بلانك Planck **$h=6,63.10^{-34}$ J.s** .

ν : تردد الموجة بـــ **Hz** .

λ : طول الموجة بـــ **m** .

c : سرعة الضوء في الفراغ **$c=3,00.10^{8}$ m.s^{-1}**

نعبر كذلك عن E بـــالإلكترون–فولط **eV** حيث **$1eV=1,6.10^{-19}$ J** .

تطبيق

أحسب بالجول ، ثم بالإلكترون-فولط ، طاقة فوتون مقرون مقرون بالإشعاع الأزرق لطيف الهيدروجين طول موجته في الفراغ يساوي 486 nm .

نعطي : ثابتة بلانك $h=6,63.10^{-34}$ J.s

الحل

طاقة الفوتون هي : $E = h.\nu = h.\frac{c}{\lambda}$

بالجول:

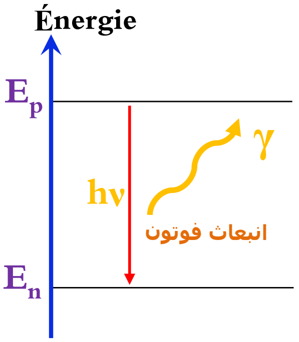
$$E = \frac{6,63.10^{-34} \times 3,00.10^{8}}{486.10^{-9}} = 4,09.10^{-19}\ J$$

بالإلكترون-فولط :

$$E = \frac{4,09.10^{-19}}{1,60.10^{-19}} = 2,56\ eV$$

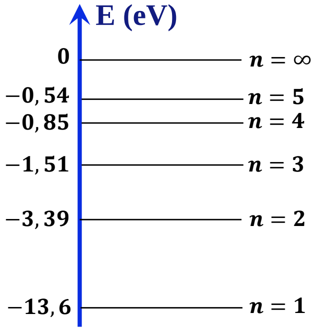
3- موضوعات بوهر Postulats de Bohr:

- يدور الإلكترون حول النواة في مستويات طاقية مكماة ، أي؛ محددة.
- الذرة لا تيوجد إلا في مستويات طاقية معينة، أي ؛ لا تتواجد الإلكترونات بين مستويات الطاقة.
- تغيرات الطاقة لذرة ما تغيرات مكماة.
- عندما ينتقل الإلكترون منم مستوى طاقي E_p إلى مستوى طاقي أصغر E_n يتم انبعاث فوتون تردده ν بحيث : $E_p - E_n = h.\nu$.



III تكمية مستويات الطاقة Quantification des des niveaux d'énergie:

1- تكمية مستويات الطاقة في الذرات:



مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين

- نميز كل مستوى طاقي بعدد n يسمى العدد الكمي. حيث : {1,2,3,4,.........}=n .
- المستوى الذي يوافق العدد n=1 يسمى بالمستوى الأساسي **niveau fondamental.** و هو المستوى ذي الطاقة الأصغر.
- المستويات التي توافق العدد n>1 تسمى بالمستويات المثارة **niveaux éxcités** .
- المستوى الذي يوافق العدد n=∞ يسمى بمستوى التأين **niveau d'ionisation.** في هذه الحالة تكون الإلكترونات غير مرتبطة بالنواة .
- الإنتقال هو المرور من حالة إلى حالة أخرى ذات مستوى طاقي أكبر(إثارة) أو ذات مستوى طاقي أصغر (فقدان الإثارة) .

نحصل على قيم مستويات الطاقة باستعمال العلاقة العامة : $E_n = -\frac{E_0}{n^2}$ بـــ **eV** . مع : $E_0 = 13,6\ eV$

2- تكمية مستويات الطاقة في الجزيئات و النوى :

- طاقة الجزيئات مكماة. و تتعلق بالإلكترونات، و باهتزازات الجزيئة حول مركز الكتلة، و بدورانها.
- طاقة النواة مكماة. حيث يمكن للنواة أن تنتقل من مستوى طاقي لآخر وذلك بفقدان طاقة أو باكتسابها. و يمكنها أن تثار إذا تم اصطدامها مع دقيقة مادية عالية الطاقة.

خلاصة:

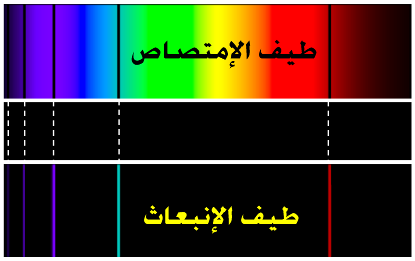
عندما تتبادل الذرات أو الجزيئات أو النوى طاقة مع المستوى الخارجي، فإنها تنتقل من مستوى طاقي E_p إلى مستوى طاقي آخر E_n أو العكس. و نعبر عن هذه الطاقة المتبادلة بعلاقة بوهر: $\Delta E = E_p - E_n$ مع $E_p > E_n$.

IV تطبيقات على الأطياف Applications sur les spectres:

1- أطياف الذرات:

طيف ضوء هو مجموع الإشعاعات (الألون) التي يتكون منها هذا الضوء.

- عندما تنتقل ذرة من مستوى طاقي E_p إلى مستوى طاقي E_n ذي طاقة أقل ، فإنها تفقد طاقة تبعثها على شكل إشعاع (ضوء) تردده ν بحيث : $\Delta E = E_p - E_n = h.\nu$.
- عندما تنتقل ذرة من مستوى طاقي E_n إلى مستوى طاقي E_p ذي طاقة أكبر. فإنها تكتسب طاقة مصدرها إشعاع تردده ν بحيث : $\Delta E = E_p - E_n = h.\nu$.
- كلما كان الفرق ΔE مهما ، كلما كان التردد ν كبيرا.
- إذا كانت $h\nu$ أصغر من أي فرق ممكن بين مستويات الطاقة ، فإن الإشعاع يعبر المادة دون إحداث أي اضطراب.
- طيف الإمتصاص و طيف الإنبعاث متكاملان. أي أن الذرة تمتص فقط الترددات التي يمكن أن تبعثها. الشيء الذي يفسر ظهور حزات داكنة في الطيف.


طيف الإمتصاص
طيف الإنبعاث

طيفا الإمتصاص و الإنبعاث لذرة الهيدروجين

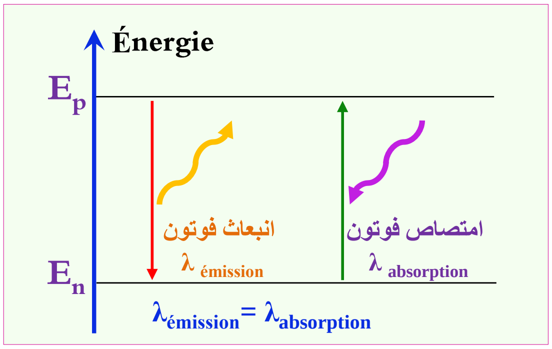
نلاحظ أن الحزات المضلمة تحتل نفس مواضع الحزات المضيئة. و نلاحظ أيضا وجود 4حزات تنتمي للمجال المرئي.

- **حساب طول موجة الإنبعاث أو الإمتصاص λ .**

لدينا : $\Delta E = E_p - E_n = h.\nu = h.\frac{c}{\lambda}$

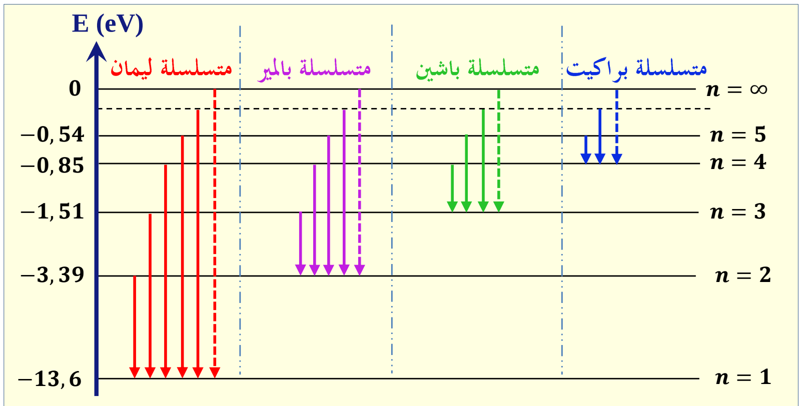
مع : $E_n = -\frac{E_0}{n^2}$ و $E_p = -\frac{E_0}{p^2}$.

إذن: $h.\frac{c}{\lambda} = -\frac{E_0}{p^2} + \frac{E_0}{n^2} = E_0\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2}\right)$


Énergie
E_p
E_n
انبعاث فوتون
λ émission
امتصاص فوتون
λ absorption
λémission = λabsorption

و بالتالي : $\frac{1}{\lambda} = \frac{E_0}{h.c}\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2}\right)$ نضع : $R_H = \frac{E_0}{h.c}$ و تسمى بثابتة ريدبرغ $R_H = \frac{13,6 \times 1,6.10^{-19}}{6,62.10^{-34} \times 3.10^8} = 1,0956.10^7\ m^{-1}$

n و p عددان طبيعيان بحيث (p>n) . العدد n يميز المتسلسلة.


E (eV)
متسلسلة ليمان
متسلسلة بالمير
متسلسلة باشين
متسلسلة براكيت
0
−0, 54
−0, 85
−1, 51
−3, 39
−13, 6
n = ∞
n = 5
n = 4
n = 3
n = 2
n = 1

المتسلسلات الطيفية لليمان و لبالمير و لباشين و لبراكيت بالنسبة لذرة الهيدروجين

متسلسلة ليمان: $n=1$ و $p>1$.

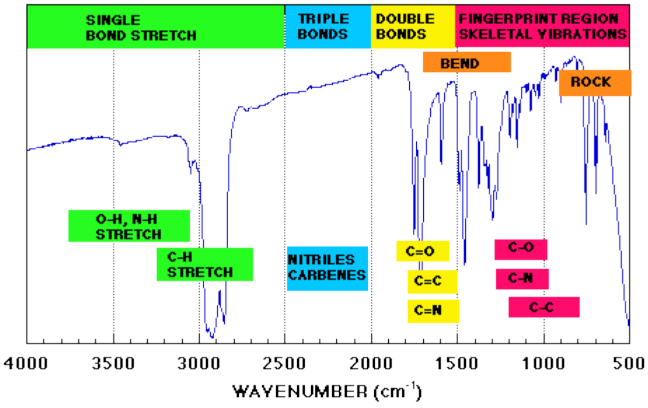
متسلسلة بالمير: $n=2$ و $p>2$.

متسلسلة باشين: $n=3$ و $p>3$.

متسلسلة براكيت: $n=4$ و $p>4$.

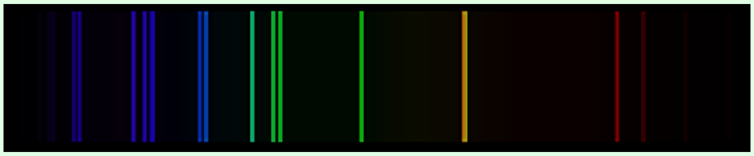
2- أطياف الجزيئات و النوى :

- يمَكن تحليل طيف الإمتصاص لجزيئة ما ، من التعرف على هذه الجزيئة . لأنه يقدم معلومات عن المجموعات الوضيفية و عن الروابط التي تحتوي عليها الجزيئة.
- ينتج عن التفتت الإشعاعي تكون نوى مثارة . فقدان الإثارة لهذه النوى يصاحبه انبعاث فوتونات γ ذات طاقة عالية تميز النوى الباعثة. $E = h.\nu = h.\frac{c}{\lambda}$



تطبيق

يمثل الشكل أسفله طيف ذرة الهيليوم.



1- هل هذا الطيف طيف امتصاص ؟ أم طيف انبعاث ؟

2- يساوي أحد تغيرات الطاقة لذرة الهيليوم $\Delta E=2,11$ eV .

أحسب طول الموجة في الفراغ لإشعاع الموافق لهذا التغيير ، و حدد لونه.

الحل

1. بما أن الحزات ضوية فإن الأمر يتعلق بطيف الإنبعاث.
2. لدينا : $\Delta E = h.\frac{c}{\lambda}$

إذن: $\lambda = \frac{h.c}{\Delta E}$

تطبيق عددي: $\lambda = 589\ nm$

لون الإشعاع أصفر |برتقالي|

تمرين موضوعاتي

BAC00-02+P228

الموضوع الأول: يعطى: $1eV=1,6.10^{-19}$ J و $c=3.10^{8}$ m.s^{-1} و $h=6,62.10^{-34}$ J.s .

تعطى العلاقة $E_n = -\frac{E_0}{n^2}$ **مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين حيث n عدد صحيح موجب و** $E_0=13,6$ eV .

1. حدد ، معللا جوابك ، حالتي الذرة اللتين توافقان مستويي الطاقة $E=-13,6$ eV و $E=0$ eV .
2. تنتقل ذرة الهيدروجين من المستوى الطاقي n إلى المستوى الطاقي p بحيث $n>p$.
   - 1.2- هل يصاحب هذا الإنتقال امتصاص إشعاع أم انباعثه ؟ علل جوابك.
   - 2.2- أوجد تعبير طول الموجة λ لهذا الإشعاع بدلالة E_0 و p و n و ثابتة بلانك h و سرعة الضوء c.
   - 3.2- علما أن هذا الإنتقال ينتمي إلى متسلسلة بالمير و أن $p=5$ أحسب قيمة λ .

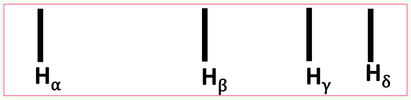
الموضوع الثاني:

تعبر العلاقة $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$ **مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين حيث n عدد صحيح موجب.**

1. حدد بالإلكترون-فولط (eV) قيم الطاقات الموافقة للمستويات $n=1$ و $n=2$ و $n=3$ و $n=\infty$.
2. استنتج المستوى المقابل لحالة تاين ذرة الهيدروجين.
3. باعتمادك على هذه القيم ، مثل مخططا مبسطا لمستويات طاقة ذرة الهيدروجين.
4. حدد قيمة طول موجة الفوتون المنبعث عند انتقال ذرة الهيدروجين من المستوى $n=3$ إلى المستوى $n=2$.

الموضوع الثالث:

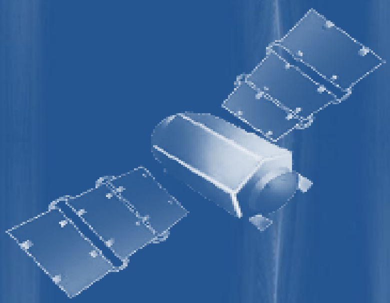
تعطى العلاقة $E_n = -13,6/n^2$ **مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين حيث n عدد صحيح موجب . نقوم بمعاينة طيف الإنبعاث لذرة الهيدروجين بواسطة مكشاف الطيف فنحصل على الطيف التالي:**



1. فسر تقطع طيف ذرة الهيدروجين.
2. ماذا تمثل القيمة $-13,6$ eV ؟
3. حدد طول الموجة λ للإشعاع H_β و المتسلسلة التي ينتمي إليها، علما أن هذا الإشعاع ينتج عن انتقال الإلكترون من المستوى $n=4$ إلى المستوى $n=2$.

الكيمياء و الميكانيك

السنة الثانية من سلك البكالوريا - الجزء الثاني



الفيزياء و الكيمياء

PHYSIQUE-CHIMIE

2BAC

- علوم فيزيائية
- علوم الحياة و الأرض*
- علوم رياضية*

إعداد: ذ. ياسين الدراز
ثانوية الرازي التأهيلية – ترجيست

Facebook : Yassin DERRAZ
Gmail: yassinderaz@gmail.com